

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL CASCO URBANO DEL CANTÓN PORTOVELO”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

LUIS LEONIDAS BRAVO VÁSQUEZ

C.I. 0705500080

DIRECTORA:

ING. DIANA LUCÍA MOSCOSO VANEGAS

C.I. 0102339454

CUENCA – ECUADOR

2017

Resumen

En el cantón Portovelo, la principal actividad que genera ingresos económicos es la explotación de minas y canteras con el 38,9% según el Censo de Población y Vivienda del año 2010. La ejecución de estas labores trae consigo emisiones de gases contaminantes y material particulado a la atmósfera, descargas de relaves a los ríos y generación de residuos sólidos. La presente investigación consistió en establecer una línea base de contaminación del aire por material particulado sedimentable en 12 sitios del casco urbano del cantón Portovelo y determinar el contenido de metales pesados en 5 muestras seleccionadas homogéneamente, con el fin de interpolar espacialmente y analizar estadísticamente los resultados obtenidos. Los análisis del material particulado sedimentable indican que 11 sitios de monitoreo superan el límite máximo permisible estipulado en el Acuerdo Ministerial 097-A de $1\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$; mientras que, haciendo referencia a las directrices de la Organización Mundial de la Salud, todos los sitios analizados superan el límite máximo permisible de $0,5\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$. Así mismo, los resultados reportados de metales pesados demuestran que, en el sector de El Pache, concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo superan en más del 90% a lo encontrado en la zona céntrica del cantón.

Palabras clave

Material particulado, metales pesados, calidad del aire, contaminación urbana, Portovelo, El Pache, minería.

Abstract

In the canton of Portovelo, the main activity that generates economic income is the exploitation of mines and quarries with 38.9% according to the Population and Housing Census of the year 2010. The execution of these tasks brings with it emissions of polluting gases and particulate matter to the atmosphere, discharges of tailings to the rivers and generation of solid waste. The present research consists in establishing an air pollution baseline by sedimentary particulate matter in 12 sites of the urban center of the canton of Portovelo and determine the heavy metal content in 5 homogeneously selected samples, in order to spatially interpolate and to analyze statistically the obtained results. Analyzes of the sedimentary particulate matter indicate that 11 monitoring sites exceed the permissible maximum limit stipulated in Ministerial Agreement 097-A of $1\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30$ days; while referring to World Health Organization guidelines, all the sites analyzed exceed the permissible maximum limit of $0.5\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30$ days. Likewise, the reported results of heavy metals show that in El Pache sector, concentrations of arsenic, cadmium, mercury and lead exceed by more than 90% the found in the central zone of the canton.

Key words

Particulate matter, heavy metals, air quality, urban pollution, Portovelo, El Pache, mining.

Tabla de Contenido

Resumen	2
Abstract.....	3
1. Introducción	10
2. Revisión bibliográfica	12
2.1. Contaminación del aire	12
2.2. Realidad ambiental del cantón Portovelo	12
2.3. Material particulado.....	14
2.4. Partículas sedimentables	15
2.5. Metales pesados y su relación con el material particulado	16
2.6. Normativa para metales pesados en calidad de aire	18
3. Metodología	19
3.1. Descripción del área de estudio	19
3.2. Selección de los sitios de muestreo	19
3.3. Medición de material sedimentable	20
3.4. Análisis de las muestras.....	20
3.4.1. Análisis de Partículas Sedimentables Insolubles (PSI)	20
3.4.2. Análisis de Partículas Sedimentables Solubles (PSS)	21
3.5. Determinación del contenido de metales pesados	22
3.6. Representación espacial.....	23
3.7. Análisis estadístico.....	23
4. Resultados y Discusión.....	26
4.1. Área de estudio y sitios de muestreo	26
4.2. Características de los puntos de muestreo.....	27
4.3. Material particulado sedimentable	29
4.4. Contenido de metales pesados	32
4.5. Representación espacial.....	33
4.6. Análisis estadístico.....	40
5. Conclusiones	44
6. Recomendaciones	45
7. Bibliografía.....	46
8. Anexos.....	50

8.1. Puntos de monitoreo	50
8.2. Análisis de muestras	54
8.3. Resultados de laboratorio	55

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo	26
Figura 2. Comparación de resultados obtenidos con el LMP del TULSMA.....	31
Figura 3. Comparación de resultados obtenidos con las directrices de la OMS	32
Figura 4. Interpolación IDW - Material Particulado Sedimentable.....	34
Figura 5. Interpolación Cokriging - Material Particulado Sedimentable.....	35
Figura 6. Interpolación IDW – Arsénico	36
Figura 7. Interpolación IDW – Cadmio	36
Figura 8. Interpolación IDW – Cromo	37
Figura 9. Interpolación IDW – Manganeso	37
Figura 10. Interpolación IDW – Níquel	38
Figura 11. Interpolación IDW – Plomo.....	38
Figura 12. Interpolación IDW – Vanadio.....	39
Figura 13. Interpolación IDW – Zinc	39


Índice de Tablas

Tabla 1. Normativa internacional para metales pesados en aire ambiente	18
Tabla 2. Ubicación de los puntos de monitoreo.....	20
Tabla 3. Resultados del monitoreo del material sedimentable.....	31
Tabla 4. Contenido de metales pesados en material particulado sedimentable ...	32
Tabla 5. Diferencia porcentual de resultados	40
Tabla 6. Coeficiente de correlación de Pearson	41
Tabla 7. Coeficiente de determinación “r ² ”, análisis 1.....	42
Tabla 8. Coeficiente de determinación “r ² ”, análisis 2.....	43

Cláusula de derecho de autor

Yo, Luis Leonidas Bravo Vásquez, autor del proyecto de investigación "Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 6 de julio de 2017



Luis Leonidas Bravo Vásquez

C.I: 0705500080

Cláusula de propiedad intelectual

Yo, Luis Leonidas Bravo Vásquez, autor del proyecto de investigación "Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 6 de julio de 2017



Luis Leonidas Bravo Vásquez

C.I: 0705500080

Dedicatoria

A mi papá, porque siempre buscaste y encontraste la manera de solventar los gastos económicos que tuve, porque confiaste ciegamente en mí y en mis capacidades, porque nunca dejaste de apoyarnos, porque eres una excelente persona. A partir de ahora, yo te daré la mano, como tu supiste dármela a mí.

A mi mamá, porque cada vez que regresaba de Portovelo me regalabas toda la comida de la semana y tú te quedabas sin nada, porque encontrabas la manera de que siempre lo tenga todo, porque la vida te ha golpeado tanto, y sin embargo sigues de pie, porque tienes un corazón de oro. Tienes ganado el cielo mamita.

A mi hermana Vanessa, aún recuerdo todo el sacrificio que hiciste para obtener tu título de tercer nivel que al final nunca viste, eso siempre fue mi ejemplo para nunca desmayar y seguir siempre adelante. A ti te dedico esto ñaña, porque desde el cielo celebrarás conmigo este triunfo.

A Diana por estar conmigo en las buenas, pero sobre todo en las malas. A mi pequeña princesa Vanessa Valentina por ser el eje sobre el cual gira mi vida, sin tu presencia no sabría por quién levantarme cada día a seguir luchando.

A la familia Romero Bravo, por demostrarme que el sacrificio siempre vale la pena, porque tomar riesgos es de valientes. Carlos y Cynthia, ustedes son mi ejemplo de familia a seguir.

A la memoria de mi abuelita Teresa, por ser una de las primeras personas que me dijo que debía superarme, a usted le debo mucho abuelita.

A mi mami Amada, su buen corazón ha sido un ejemplo de que uno siempre tiene que dar sin esperar a recibir nada a cambio.

A mi tía Rosa y a mi primo Beto que en paz descansen, porque siempre demostraron amor a la vida y a nunca perder la fe. Las personas que van a la guerra no tendrían la suficiente valentía para afrontar lo que ustedes han afrontado. Las personas que han luchado o luchan contra el cáncer, merecen ser reconocidos como “los verdaderos guerreros”.

Finalmente, este trabajo va dedicado a Luis Leonidas Bravo Vásquez, porque él es el único que sabe a ciencia cierta todos los obstáculos que atravesó, todos los problemas que resolvió, todas las noches que se desveló y todo lo que le costó llegar hasta aquí. Te lo has ganado.

Agradecimiento

Al Padre Celestial y a mi Churonita de El Cisne por la vida y por mantenerme con salud para poder alcanzar esta meta.

A Vanessa Fernanda, mi ángel de la guarda. No te veo, ni te escucho, pero sé que estás conmigo y te sientes orgullosa de mí. Gracias hermana, si no te hubieras ido sería tan feliz.

A Luis Fernando, mi buen amigo. Por ser la primera persona que desde un principio supo que este día llegaría. Gracias papá, eres un buen tipo mi viejo.

A Chanena del Carmen, mi guía. No tengo maneras de pagarte todo el sacrificio que tú has hecho por mí. Gracias mamá, no me dejes nunca, te lo pido por favor.

A Cynthia Viviana, mi consejera. Porque tus consejos de vida son los mejores que puedo recibir. Gracias hermana, recuerda que me tienes a mí, siempre a mí.

A Diana Patricia, mi compañera. Por estar conmigo en la enfermedad y en la pobreza. Gracias gorda, thank you for loving me.

A Vanessa Valentina, mi todo. Porque desde el día en que viste la luz, nunca te vi como un pretexto, más bien fuiste mi motivo. Gracias mi princesa, mi pequeña máquina de jugar.

A todos mis amigos y compañeros de Universidad, en especial a Gabriela, Lisseth y Esteban. Gracias por todos los acolites, quedarán en la memoria los mejores momentos vividos.

A la Ingeniera Diana Moscoso, mi directora de tesis. Por compartir sus conocimientos conmigo y dedicar horas valiosas de su tiempo para la revisión de este trabajo.

1. Introducción

La contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales que perturba directa o indirectamente a la salud humana (Park, 2015; World Health Organization, 2014, 2015), y afecta tanto a países desarrollados como en vías de desarrollo. En nuestro país, el Ministerio del Ambiente (MAE) en el año 2010, desarrolló el Plan Nacional de Calidad del Aire (PNCA), en el cual se plantea como objetivo principal “alcanzar una gestión ambiental adecuada de la calidad del recurso aire para proteger la salud humana, los recursos naturales y el patrimonio cultural, ...” (Ministerio del Ambiente, 2010).

El cantón Portovelo de la Provincia de El Oro, es conocido como el “Primer Centro Minero del Ecuador”, donde según el Censo de Población y Vivienda del año 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la principal actividad que genera ingresos por ventas es la explotación de minas y canteras con el 38,9%, seguido de las actividades financieras y de seguros con el 29,4%, las actividades de artes, entretenimiento y recreación con 15,7%, el comercio al por mayor y menor con 12,10% y finalmente la suma de otras actividades con 3,9%. Así mismo, en el apartado de población ocupada por rama de actividad, la explotación de minas y canteras encabeza la lista con el 36,5%, la agricultura, ganadería y pesca posee el 18,3%, el comercio cuenta con 13,1%, y finalmente la suma de otras actividades menores como la enseñanza, construcción, transporte, administración pública, industrias manufactureras, actividades de alojamiento, entre otras, llegan al 32,10%.

En Portovelo, la explotación de minas y posteriormente la refinación y procesamiento del cuarzo para obtener oro, plata o cobre, causan emisiones de gases contaminantes y material particulado a la atmósfera, descargas de relaves a los ríos y generación excesiva de residuos sólidos. En la zona minero-industrial de El Pache y El Salado, se puede constatar la presencia de plantas de beneficio y procesadoras de minerales; y así mismo, se puede evidenciar a simple vista o mediante la ayuda de imágenes aéreas la presencia de numerosas relaveras, que en la mayoría son mal manejadas o no han tenido su etapa de cierre, por lo que se han convertido en una de las principales fuentes de generación de material particulado junto al tránsito de vehículos livianos, pesados y volquetas.

Debido a la poca información de fuentes oficiales sobre la presencia de partículas y metales pesados en el aire ambiente y tomando en consideración que los habitantes de la zona de estudio dependen en su mayoría de la minería para satisfacer las necesidades de desarrollo y subsistencia, se ha realizado el presente trabajo de investigación, cuyo objetivo general consiste en establecer una línea base de contaminación del aire por presencia de material particulado sedimentable y su

contenido en metales pesados en el casco urbano del cantón Portovelo, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos: 1) Determinar la concentración de material particulado sedimentable en 12 sitios del cantón Portovelo y comparar con los límites máximos permisibles. 2) Analizar la composición de metales pesados en el material particulado recolectado. 3) Representar espacialmente el nivel de concentración del material particulado y metales pesados. 4) Identificar si las concentraciones determinadas en los sitios de estudio presentan correlaciones significativas.

2. Revisión bibliográfica

2.1. Contaminación del aire

La contaminación del aire es una modificación de la calidad y pureza del aire debido a la emisión de sustancias químicas, biológicas, materias y diferentes formas de energía provenientes de fuentes naturales o antropogénicas (Gutierrez, Quijano, & Quijano, 2012; Universidad Nacional Autónoma de México, 2015). Ambientalmente, este problema es uno de los más relevantes, y se manifiesta fundamentalmente en asentamientos de tipo urbano, industrial y minero (Barrios, Peña, & Osses, 2004).

Los contaminantes del aire medidos en zonas urbanas, provienen típicamente de fuentes móviles como medios motorizados de transporte y de fuentes fijas como industrias, usos residenciales y procesos de eliminación de residuos. Si estas fuentes se encuentran en zonas en donde las diversas condiciones topográficas, la inversión térmica o la velocidad del viento reduzcan la dispersión de los contaminantes en la atmósfera, puede haber, periodos de tiempo con concentraciones peligrosamente altas (Ballester, 2005).

Una evaluación realizada en el 2014 por la Organización Mundial de la Salud (OMS), confirmó que la contaminación atmosférica es cancerígena para los seres humanos, mientras que el 26 de mayo del 2015 mediante un comunicado de prensa de la misma entidad, informaron que cada año, 3,7 millones de personas mueren como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica exterior. Además, se estima que cerca del 88% de la población del mundo, respira un aire que no está acorde a las directrices de la OMS sobre la calidad del aire.

Los efectos de la contaminación del aire en la salud son temas muy complejos, ya que una vez inhalados afectan al aparato respiratorio, pasan a la sangre y alcanzan todos los órganos (Vargas, Onatra, Osorno, Páez, & Sáenz, 2008). Además, su afección no solamente es mediante la respiración directa, pues al ser liberados a la atmósfera reaccionan con la humedad del aire y en el caso del dióxido de azufre (SO_2) y dióxidos de nitrógeno (NO_x) forman la lluvia ácida que se deposita en las vertientes de agua y los suelos, para posteriormente afectar al ser humano mediante la ingesta de los alimentos y aguas contaminadas.

2.2. Realidad ambiental del cantón Portovelo

Desde la época aborígen hasta la actualidad, Portovelo ha basado su economía en la minería, ya sea explotando los placeres auríferos de sus ríos o en yacimientos que se encuentran cerca de la población (Muñoz, 2015). Blacio, (2015) señala que esta actividad ha traído consigo perjuicios a la salud de los trabajadores, haciendo de Portovelo una población con menor esperanza de vida que el promedio nacional. Además, la misma autora indica que muchas personas padecen de leucemia, debido a la exposición a sustancias contaminantes usadas en la minería; así mismo, varias enfermedades son producidas por el contenido de metales pesados dispersos en el aire, que afectan a las mujeres en la etapa de gestación.

En una investigación de mercurio metálico atmosférico realizado por González, Velásquez, Olivero, & Pájaro (2011) se demostró que el aire de la zona de El Pache, contenía en promedio $3,699,5 \pm 1,225.3 \text{ ng/m}^3$ de mercurio en el periodo seco y $2,356.7 \pm 1,807.6 \text{ ng/m}^3$ en el periodo lluvioso, mientras que el centro de la urbe contenía $574.2 \pm 72.8 \text{ ng/m}^3$ en el periodo seco y $214.6 \pm 43.7 \text{ ng/m}^3$ en el periodo de lluvias, ambos sectores superando el límite de riesgo mínimo de 200 ng/m^3 establecido por la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR).

El Instituto Geológico y Minero de España, (2012) mediante un censo realizado a las empresas mineras de los cantones de Portovelo y Santa Rosa concluyó que en el 87% de las compañías encuestadas existe desinterés en realizar estudios para conocer y determinar las condiciones del aire dentro de las mismas, y por ende no llevan un control de la calidad del aire.

García, Betancourt, Cueva, & Gimaraes, (2012) emplean diferentes temáticas de muestreo para realizar un análisis de todos los afluentes del río Puyango, demostrando que los ríos Amarillo y Calera presentan valores significativos en lo concerniente a metales pesados como manganeso, mercurio y arsénico.

Waldick, (2003) reporta un estudio denominado “Mining, Contamination, and Health in Ecuador”, realizado por la Fundación Salud, Ambiente y Desarrollo (FUNSAD) con apoyo de la International Development Research Centre (IDRC) de Canadá, donde se reveló entre otras cosas que, la mayoría de las personas participantes de la investigación pertenecientes a Portovelo y Zaruma, tenían niveles peligrosos de plomo en su torrente sanguíneo, dejando como hipótesis que estos resultados fueron causados por la contaminación del aire y otras fuentes.

Otros estudios han sido destinados en encontrar y aplicar nuevas tecnologías para la caracterización de minerales en depósitos mineros, como el de (Berrezueta, Ordoñez, Bonilla, Banda, Castroviejo, Carrión & Puglla, 2016). Mientras que otras investigaciones han tenido como objetivo la caracterización de la contaminación en

los ríos del Cantón debido a la descarga de relaves mineros, ya sea de manera directa o indirecta (Sandoval, 2001).

La información encontrada en los Estudios de Impacto Ambiental que se han realizado en varias entidades dedicadas al procesamiento de minerales auríferos no ha sido tomada en cuenta en la presente investigación, pues las mediciones realizadas se han hecho dentro de las empresas y los resultados obtenidos expresan una contaminación en su mayoría a nivel interna.

2.3. Material particulado

El material particulado se define como la mezcla heterogénea de materia sólida y/o líquida presente en suspensión en la atmósfera (Arciniégas, 2012; De La Rosa, 2008; Gutierrez et al., 2012). Su formación puede darse de dos maneras, la primera debido a subdivisiones o roturas de fragmentos mayores de materia y la segunda por aglomeración o reunión de fragmentos pequeños incluyendo moléculas. El origen es muy variado, aunque para Blessing Ebele, (2012) el material particulado proveniente de procesos antropogénicos tiene más relevancia que los procesos naturales.

El material particulado se presenta en diferente tamaño o diámetro aerodinámico y varía de 0.001 a 100 micras dependiendo de la temperatura, humedad y velocidad del viento (Gao, Sun, Thi Thanh Thao, Lun, & Yu, 2015; Gutierrez et al., 2012). En función del mismo, este contaminante se clasifica en dos grupos, el primero se conforma de las partículas de mayor tamaño que en condiciones normales se depositan por acción de la gravedad, y constituyen la materia sedimentable o polvo; y en el segundo grupo se consideran las partículas denominadas como aerosoles o partículas en suspensión, cuyo diámetro menor les permite formar suspensiones estables en el aire dotadas de movimiento browniano (Matus & Lucero, 2002). Los aerosoles o partículas suspendidas son clasificadas como gruesas, que van de 2.5 a 10 micras; finas, cuyo diámetro varía entre 0.1 a 2.5 micras y ultra-finas, que comprenden partículas menores a 0.1 micras (Gao et al., 2015).

La presencia de este contaminante en la atmósfera ocasiona diversos impactos en la vegetación, construcciones y ser humano, en este último, asociándose al incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares. Además, el material particulado se encuentra asociado a compuestos con repercusiones genotóxicas, mutagénicas y carcinogénicas (Gutierrez et al., 2012), por lo que conocer su composición química tiene relevancia desde el punto de vista de la química de la atmósfera, y así mismo sobre la calidad del aire que se respira en las ciudades (Arciniégas, 2012).

El material particulado atmosférico proveniente de explotaciones mineras se considera de carácter antropogénico, pues el ser humano es el que interviene para su origen. Además, dentro de la explotación minera, la preocupación no solamente apunta a la extracción del material, también hay que resaltar que existen plantas de concentración, fundición o tratamientos a altas temperaturas que generan emisiones de gases y partículas con altas concentraciones de metales. Así mismo, el traslado del material y su tratamiento en plantas de reducción de tamaño también generan una alta concentración de partículas derivadas del movimiento de vehículos pesados y cintas transportadoras (De La Rosa, 2008).

2.4. Partículas sedimentables

Las partículas sedimentables, material sedimentable o polvo sedimentable está compuesto por partículas presentes en el aire que se depositan por acción de la gravedad o deposición seca, y por contaminantes gaseosos y partículas no sedimentables arrastradas por la lluvia o también conocida como deposición húmeda (Espinosa, 2001; Moreno et al., 2002), se caracterizan por presentar velocidades de sedimentación apreciables, permaneciendo en la atmósfera por cortos periodos de tiempo (Zapata, Quijano, Molina, Rubiano, & Londoño, 2008).

Estas partículas, son creadas por el rompimiento de grandes partículas en procesos como trituración, pulverización, perforaciones, explosiones, mezcla de materiales y en actividades como transporte, tamizado y barreduras (Zapata et al., 2008).

Los efectos de este contaminante sobre el medio ambiente son muy diversos, generalmente deterioran los bienes sobre los que se depositan, empobrecen el paisaje y pueden producir considerables perjuicios en suelos y plantas (Espinosa, 2001); mientras que, en términos de salud humana, su afección resulta poco considerable pues al inhalar estas partículas son retenidas en la nariz y garganta y por ende no alcanzan a ingresar a los pulmones (Zapata et al., 2008).

Las condiciones meteorológicas del periodo de muestreo como velocidad y dirección del viento y en especial la cantidad y frecuencia de lluvias dependen mucho sobre la cantidad de materia recolectada en los captadores (Espinosa, 2001).

En nuestro país, algunas ciudades realizan un continuo monitoreo de este contaminante, es así que, en Quito, el Distrito Metropolitano a través de la Secretaría de Ambiente, reportó que, durante el año 2015, 9 de 43 puntos monitoreados superaron en al menos un mes, el límite de $1\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$ para material sedimentable establecido en la Normativa Ambiental Ecuatoriana. Los

sectores donde se encontró la mayor presencia de este contaminante fueron San Antonio de Pichincha con $2,86\text{mg/cm}^2 \cdot 30\text{días}$, Guajaló con $2,15\text{mg/cm}^2 \cdot 30\text{días}$, Tababela con $1,78\text{mg/cm}^2 \cdot 30\text{días}$, entre otros.

Por otro lado, en el mismo año, la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV) presentó el Informe de Calidad de Aire de dicha ciudad, donde se refleja que en el mes de junio en la Calle Presidente Córdova y Luis Cordero (Estación de Bomberos - Centro Histórico) se registró un valor de $1,43\text{mg/cm}^2 \cdot 30\text{días}$ de partículas sedimentables, mientras que en el mes de septiembre en la Avenida Ordoñez Laso y Avenida Cerezos (Balzay CEA – Universidad de Cuenca) se obtuvo un valor de $1,35\text{mg/cm}^2 \cdot 30\text{días}$; ambos puntos superando el límite de $1\text{mg/cm}^2 \cdot 30\text{días}$ (EMOV EP, 2015).

Así mismo, en la ciudad de Cuenca, García & Abad, (2015) demostraron que en la Avenida Loja y el Parque Industrial existían valores de material sedimentable que excedían tanto lo establecido en la Normativa Ambiental Ecuatoriana como lo estipulado por la OMS que es de $0,5\text{mg/cm}^2 \cdot 30\text{días}$, y en el análisis de metales pesados respectivo se evidenció la presencia de Hierro, Manganeseo, Zinc y Cromo, cuyos valores no se pudieron comparar al no existir un valor referencial en la Normativa Ambiental Ecuatoriana vigente.

2.5. Metales pesados y su relación con el material particulado

La composición química de la materia sedimentable es muy variada, algunos de sus elementos constituyentes pueden considerarse como nutrientes, mientras que otros se pueden catalogar como contaminantes tóxicos potenciales. Conociendo que el suelo y las plantas son la base de la cadena alimenticia del ser humano y que éstos son los principales receptores de la materia sedimentable, es de suma importancia el estudio de sus constituyentes tóxicos, pues muchas veces la deposición que se realiza es mucho mayor al efecto de lavado en los suelos y la capacidad de eliminación por parte de los vegetales, pudiendo dar lugar a una considerable acumulación de estos contaminantes en suelos y plantas (Espinosa, 2001).

Soriano, Pallarés, Pardo, Vicente, Sanfeliu & Bech, (2012), es su investigación sobre la concentración de metales pesados en material sedimentable en dos sitios de España, indica que a pesar de que la deposición de partículas limpia la atmosfera, su resultado final es la transferencia de contaminantes atmosféricos tóxicos hacia el suelo, trayendo consigo la acidificación y salinización del mismo. Esta transferencia de contaminantes se realiza mediante deposición seca o húmeda. Esta última; a criterio del mismo autor, es el proceso que transfiere la mayor cantidad de metales pesados al suelo proveniente de la atmosfera; pues en

la misma, las gotas de lluvia atrapan las partículas sólidas en su camino y las depositan en la superficie terrestre.

Moreno, Cascales, Martínez, Angosto, Moreno, Bayo, García & Moreno, (2001) en su investigación sobre el contenido de metales pesados en suelo y material particulado sedimentable en la Municipalidad de Cartagena al Sur de España, concluyeron que, las concentraciones encontradas en su estudio de Pb, Cd, Zn y Cu en suelos y partículas atmosféricas sedimentables permitió señalar la importancia del enriquecimiento de metales pesados debido a las emisiones de partículas fugitivas de las actividades mineras y metalúrgicas realizadas desde la antigüedad en dicha municipalidad. Explican también que, las minas históricas de los siglos XIX y XX, dejaron relaves mineros con abundante contenido metálico debido a una separación de mineral poco eficiente. Por lo tanto, las partículas de estos relaves constituyen una fuente importante de contaminación metálica en suelos y aerosoles atmosféricos sedimentables.

Los metales pesados generalmente se hallan como componentes naturales de la corteza terrestre, en diferentes formas como minerales, sales u otros compuestos. Los conocidos oligoelementos como el boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc sirven como micronutrientes para los cultivos, mientras que el arsénico, cobre, cobalto, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cromo, flúor, níquel, selenio, estaño y vanadio son esenciales para la nutrición y metabolismo de animales y el ser humano; sin embargo, al pasar cierto umbral se vuelven tóxicos y pueden producir envenenamiento del receptor (Delgadillo, González, Villagómez, Acevedo, & Prieto, 2011; Prieto, González, Román, & Prieto, 2009).

Para Zafra, Rodríguez, & Torres, (2012) los metales pesados pueden ser ingeridos, inhalados o absorbidos dérmicamente a partir de las partículas de polvo resuspendidas provenientes de los suelos de áreas contaminadas como superficies viales; y pueden actuar como elementos cancerígenos para el ser humano o potentes tóxicos para los ecosistemas, dependiendo de cuáles sean sus vías y tiempo de exposición, la dosis absorbida y la naturaleza química del elemento. Tomando en cuenta la salud pública, los autores citan estudios que reportaron que la población urbana que vive o labora cerca de vías con una alta densidad de tráfico se encuentra en riesgo por la presencia de elementos metálicos.

Entre los metales de amplia preocupación por su exposición ambiental, se encuentran el plomo, cromo, cadmio y mercurio. Los dos primeros, considerados cancerígenos por la Agencia de Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la OMS; y los dos restantes conocidos por su neurotoxicidad (Zubero et al., 2008). Por otro lado Prieto et al., (2009) indican que existen metales pesados sin función biológica conocida, que tienen la propiedad de acumularse y en determinadas cantidades

conllevar a disfunciones en el normal funcionamiento de los organismos, estos elementos son cadmio, mercurio, plomo, antimonio, bismuto, estaño y talio.

2.6. Normativa para metales pesados en calidad de aire

De acuerdo a lo establecido en la tabla 3 del Acuerdo Ministerial 097-A del 4 de noviembre del 2015, se estipula como límite máximo permisible para el cadmio y mercurio inorgánico (vapores) $5 \times 10^{-3} \text{ug/m}^3$ y 1ug/m^3 respectivamente, para un tiempo de exposición anual.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o U.S. EPA (por sus siglas en inglés) ha establecido dentro de las Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiente, 0.15ug/m^3 como límite máximo permisible para el plomo (Pb) en un tiempo de 3 meses de medición en promedio.

Así mismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en las directrices de calidad de aire para Europa (World Health Organization, 2000), y la ATSDR o Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (2015) establecen límites máximos permisibles para elementos como arsénico, cadmio, manganeso, mercurio inorgánico y vanadio. Los valores guía propuestos por cada entidad y su tiempo de exposición recomendados se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Normativa internacional para metales pesados en aire ambiente

<i>Elemento</i>	<i>OMS</i>	<i>ATSDR</i>	<i>Tiempo promedio de exposición</i>
	Límite Máximo Permisible (ug/m³)		
Arsénico	0.0066	0.0002	Exposición continua
Cadmio	0.005	0.0006	1 año
Manganeso	0.15	0.05	1 año
Mercurio inorgánico	1	0.2	1 año
Vanadio	1	0.2	24 horas

Fuente: WHO & ATSDR.

Elaboración: Autor

3. Metodología

La presente investigación es de carácter exploratoria, pues se está dando una visión general respecto a la realidad ambiental del cantón Portovelo en términos de calidad de aire. Además, se brindará un enfoque más amplio a un tema que no ha sido estudiado.

3.1. Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en el área urbana central del cantón Portovelo, ubicado en la parte alta de la provincia de El Oro, en el Sur del Ecuador. El cantón se encuentra a una altura que varía entre los 600m.s.n.m. a 3000m.s.n.m., está ubicado geográficamente en la Latitud 3° 43.283'S y Longitud 79° 37.317'O; limita al Norte con el cantón Zaruma, al Sur y al Este con la provincia de Loja y al Oeste con el cantón Piñas. La división política del cantón comprende la parroquia urbana de Portovelo y las parroquias rurales de Morales, Curtincápac y Salatí. El cantón, cuenta con un área aproximada de 286,20km² y una población estimada al 2016 de 13547 habitantes según las proyecciones poblacionales del INEC. La temperatura es cálida-húmeda; en las partes altas oscila entre los 5°C a 15°C, mientras que en las partes bajas varía entre 21°C a 28°C. Para el año 2011, según el anuario meteorológico del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) la estación M0180 ubicada a 3km del área de estudio, presentó una precipitación acumulada anual de 1569,3mm, siendo enero el mes más lluvioso con 330,3mm y agosto menos lluvioso con 1,4mm.

3.2. Selección de los sitios de muestreo

Se realizó un recorrido previo en el área de estudio para determinar la cantidad total de lugares a ser monitoreados. Realizado esto, se dividió imaginariamente la zona urbana del cantón en 2 partes, la primera sección se destinó al centro de la urbe, donde se encuentra establecida la mayor cantidad de población, y la segunda se estableció en las zonas mineras industriales de El Pache y El Salado, caracterizadas por ser sitios donde se procesan y obtienen minerales, se almacenan en piscinas a la intemperie relaves de desecho y se presenta un alto tránsito de vehículos pesados.

La Tabla 2 detalla y ubica geográficamente los puntos de monitoreo seleccionados:

Tabla 2. Ubicación de los puntos de monitoreo.

Código	Ubicación referencial	Latitud	Longitud
MSP01	Benemérito Cuerpo de Bomberos de Portovelo	3° 42.862'S	79° 36.914'O
MSP02	Baños públicos del Parque de Fátima	3° 42.940'S	79° 37.125'O
MSP03	Calle Assad Bucaram y Calle Guayaquil	3° 43.122'S	79° 37.195'O
MSP04	Librería y Ciber "Mayte"	3° 43.216'S	79° 37.230'O
MSP05	Planta de beneficio Espinoza	3° 43.400'S	79° 37.414'O
MSP06	Cabina "Los Ángeles", Iglesia de la Cdla La Florida	3° 43.476'S	79° 37.551'O
MSP07	Calle Jaime Roldós y Calle S/N	3° 43.545'S	79° 37.700'O
MSP08	Domicilio de la familia Alvarado Guanuche	3° 43.749'S	79° 38.140'O
MSP09	Planta de beneficio Romero Guzmán	3° 42.925'S	79° 37.954'O
MSP10	Lenin Bar Restaurant	3° 44.420'S	79° 38.444'O
MSP11	Lavadora de carros "Las Brisas"	3° 42.608'S	79° 38.005'O
MSP12	Sport Complex Geovanny Salinas	3° 43.613'S	79° 37.998'O

Elaboración: Autor

3.3. Medición de material sedimentable

Para la recolección de partículas sedimentables se utilizaron recipientes de 17,55cm de diámetro y 25cm de altura, con un área de captación de 241,9cm², que fueron sujetados entre 2,5m y 3m de altura del nivel del suelo. El periodo de muestreo para todos los puntos fue por 30 días ininterrumpidos en forma simultánea, según lo establece el Libro VI Anexo IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) reformado en el Acuerdo Ministerial 097-A, teniendo como fecha de inicio el día 7 de noviembre del 2016 y culminando el 7 de diciembre del mismo año.

3.4. Análisis de las muestras

Concluidos los 30 días de muestreo, y con el uso de mandil, guantes quirúrgicos y otras herramientas necesarias en el momento, se retiró los recipientes uno a uno y se procedió a cubrirlos con plástico para evitar que sean contaminados en su traslado al Centro de Estudios Ambientales (CEA) en la ciudad de Cuenca.

3.4.1. Análisis de Partículas Sedimentables Insolubles (PSI)

Para determinar la cantidad de PSI se utilizaron filtros de microfibra de cuarzo de alta pureza marca Whatman y se siguieron los pasos detallados a continuación:

1. Mediante el uso de una balanza analítica se pesó el papel filtro para obtener su peso inicial (PPi).
2. El papel filtro ya pesado se colocó dentro de un embudo.
3. Posterior a esto, se introdujo agua destilada en el envase para juntar todo el material recolectado y proceder a filtrarlo.
4. Luego, se secó el papel filtro a una estufa por un lapso de dos horas a una temperatura de 60°C .
5. Finalmente, se dejó enfriar el papel filtro por un lapso aproximado de 15 minutos y se procedió a pesar con el material que quedó retenido (PPf).

La cantidad de PSI se determinó mediante la ecuación 1 expresada en mg:

$$PSI = PPf - PPi \text{ (Ecuación 1)}$$

3.4.2. Análisis de Partículas Sedimentables Solubles (PSS)

La cantidad de PSS se determinó mediante el cumplimiento de los pasos detallados a continuación:

1. Mediante el uso de una balanza analítica se pesó una cápsula de porcelana para obtener su peso inicial (PCi).
2. El filtrado obtenido de la determinación de PSI se aforó a 250cc y se tomó una alícuota de 50cc en la cápsula de porcelana previamente pesada.
3. Se llevó la cápsula a la estufa a una temperatura de 60°C , hasta lograr la evaporación total del líquido.
4. Se retiró la cápsula para que se enfríe a temperatura ambiente y se procedió a pesarla (PCf).
5. La cantidad de PSS se calculó mediante la ecuación 2 expresada en mg:

$$PSS = PCf - PCi \text{ (Ecuación 2)}$$

Posterior a eso, se realizó el cálculo de la cantidad total de partículas sedimentadas, utilizando la ecuación 3 expresada en $\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2 \cdot 30 \text{ días}}$:

$$\text{Material Sedimentable} = \frac{PSS + PSI}{\pi r^2} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde,

PSS = *Partículas Sedimentables Solubles.*

PSI = *Partículas Sedimentables Insolubles.*

r = *Radio del envase*

Finalmente, las concentraciones obtenidas se corrigieron a las condiciones ambientales de presión y temperatura del cantón Portovelo. Para ello se utilizó la ecuación 4 expresada en $\frac{mg}{cm^2 * 30 \text{ días}}$:

$$Cc = Co * \frac{760mmHg}{Pbl (mmHg)} * \frac{Tl (^\circ K)}{298 ^\circ K} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde,

Cc = *Concentración Corregida*

Co = *Concentración Obtenida*

Pbl = *Presión Atmosférica del Cantón Portovelo (688,7802mmHg)*

Tl = *Temperatura del Cantón Portovelo (297,5°K)*

3.5. Determinación del contenido de metales pesados

Una vez concluido el análisis de las partículas sedimentables, se procedió a realizar su caracterización química; para ello, se escogieron las muestras MSP02, MSP04, MSP06, MSP08, MSP09 y un filtro vacío, y se enviaron a los laboratorios de Gruntec Cia. Ltda. en la ciudad de Quito, donde se determinó la existencia y contenido de 29 elementos diferentes, aplicando el Método Adaptado de Referencia / Método Interno EPA 6020 B / MM-AG/S-39.

Dichas muestras se escogieron en base a su distribución geográfica en el cantón Portovelo, mas no por su contenido de material sedimentable; esto, con el fin de obtener un panorama más homogéneo de los resultados.

3.6. Representación espacial

Los resultados obtenidos del material particulado sedimentable y de los metales pesados que, según la bibliografía consultada presentan una alta peligrosidad al ambiente, se tabularon y cargaron en un Sistema de Información Geográfica (GIS), para posteriormente utilizar dos métodos de interpolación que permitan determinar la continuidad espacial de las diferentes variables y así poder predecir o estimar un valor cercano al real en un punto desconocido o no monitoreado.

El primer método en aplicarse para realizar la interpolación del material particulado sedimentable y de metales pesados fue Inverse Distance Weighting (IDW), que se basa en asumir que cada punto posee una influencia local que disminuye con la distancia, para de esta manera, ponderar con mayor intensidad a los puntos con datos cercanos al punto de valor desconocido y con menor fuerza a aquellos ubicados a mayor distancia. Cabe recalcar también, que los resultados de interpolación de este método no superan los límites de los valores de entrada (Abad & Céleri, 2014).

Mientras que, como un ensayo extra para la interpolación de los resultados del material particulado sedimentable, se utilizó el método Cokriging, que consiste en realizar la predicción espacial de una variable basándose en su propia información y en la de otras variables auxiliares que se encuentren correlacionadas espacialmente (Abad & Céleri, 2014; Gallardo, 2006).

Ambos métodos se consideran cercanos a su validez si los errores de predicción son próximos a cero en los puntos utilizados (Abad & Céleri, 2014; Cañada, Vidal, & Moreno, 2010).

3.7. Análisis estadístico

Mediante el manejo del software estadístico IBM-SPSS versión 23, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson “r” entre la cantidad de material sedimentable recolectado y su contenido de metales pesados. Para esta última variable, se tomaron en cuenta únicamente los metales que presentan una afección alta al ambiente por su grado de toxicidad o aquellos en los que su concentración fue demasiada alta.

El coeficiente de correlación de Pearson se calculó mediante la ecuación 5:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x * S_y} \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde,

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

S_{xy} = Covarianza de las variables x e y .

S_x = Desviación estándar de x .

S_y = Desviación estándar de y .

Así mismo, el cálculo de la covarianza de las variables xy se lo realizó mediante la ecuación 6:

$$S_{xy} = \frac{\sum (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{N} \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde,

S_{xy} = Covarianza de las variables x e y .

x = Valor la variable x .

\bar{x} = Media o promedio de los datos de x .

\bar{y} = Media o promedio de los datos de y .

N = Número total de datos.

Para realizar el cálculo de las desviaciones estándar tanto para la variable x como para la variable y , se utilizaron las ecuaciones 7 y 8 respectivamente:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}} \text{ (Ecuación 7)}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{N}} \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde,

S_x = Desviación estándar para la variable x

S_y = Desviación estándar para la variable y .

x = Valor la variable x .

y = Valor de la variable y

\bar{x} = Media o promedio de los datos de x .

\bar{y} = Media o promedio de los datos de y .

N = Número total de datos.

Así mismo, en el Software Excel 2016 se realizaron las gráficas de dispersión de puntos de los diferentes metales pesados seleccionados, y se obtuvo la ecuación de la línea de tendencia y el valor del coeficiente de determinación o r^2 .

4. Resultados y Discusión

4.1. Área de estudio y sitios de muestreo

Basándose en la perspectiva de obtener muestras representativas y homogéneas que abarquen todo el sector dentro del casco urbano central del cantón Portovelo, se establecieron 12 puntos de muestreo (Figura 1), 7 de los cuales se destinaron donde se concentra la mayor cantidad de la población, que va desde el Benemérito Cuerpo de Bomberos de la localidad hasta la Ciudadela La Florida (MSP01, MSP02, MSP03, MSP04, MSP05, MSP06 y MSP07); mientras que, los 5 puntos restantes se destinaron a la zona minero-industrial de El Pache y El Salado, ubicándose 2 puntos de monitoreo en el primer sector (MSP09 y MSP11), 1 punto en el segundo (MSP10) y 2 puntos en la zona de conexión de ambos (MSP08 y MSP12).

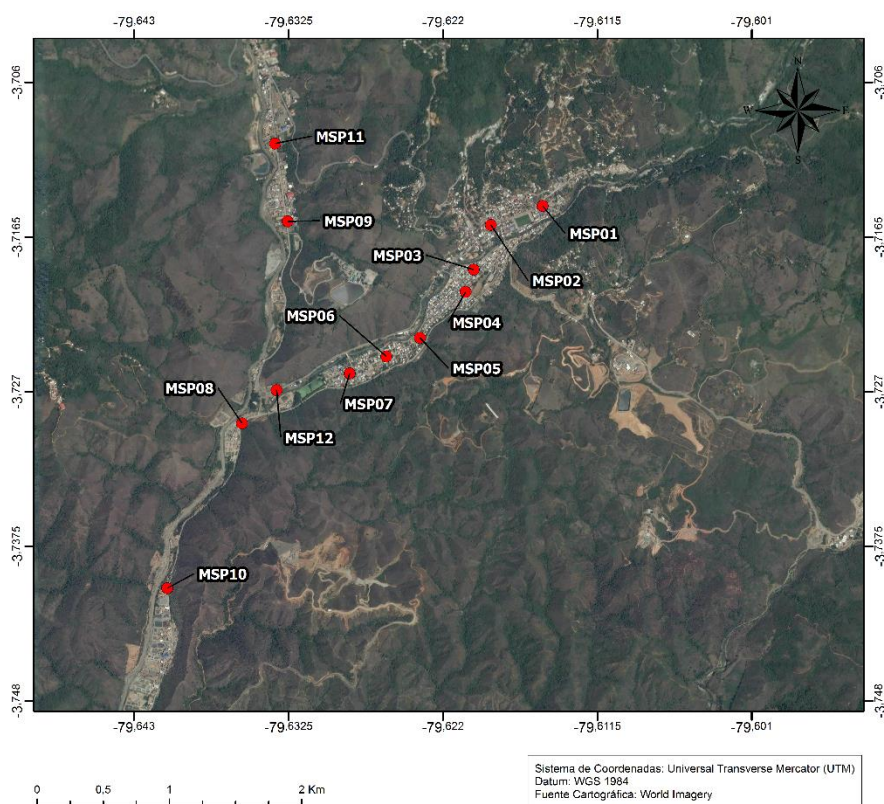


Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo

Elaboración: Autor

4.2. Características de los puntos de muestreo

MSP01

Se destinó a la terraza de las instalaciones del Benemérito Cuerpo de Bomberos del cantón, en las calles Avenida del Ejército y Machala, a escasos metros de la Escuela Federico Froebel. En dicho sector, se encuentra un redondel que conecta el tránsito vehicular hacia la Avenida del Ejército y hacia el Cementerio General; además, este sitio se utiliza como descongestionante de volquetas que laboran hacia el Este del cantón, pues actualmente se encuentra prohibido el paso de dicho transporte por el centro de la urbe.

- MSP02

Se ubicó en la terraza de los baños públicos del cantón, en la Avenida Welmer Quezada y Calle Rosa Vivar, este sector es caracterizado por ser la entrada y salida de los buses que se dirigen hacia el cantón Zaruma y Piñas respectivamente. Además, en sus alrededores se encuentra el estacionamiento y salida de la Cooperativa de Taxis Portovelo y Cooperativas de camionetas Rutminsa, Río Amarillo y Portobahiasa. Así mismo, es un lugar que presenta una gran aglomeración de personas, pues en el sector se encuentra establecido el Parque de Fátima, el Banco de Machala y la Iglesia Virgen de Fátima.

- MSP03

Se colocó en el balcón del segundo piso de la casa de la familia Barzallo Aguilar, los alrededores se caracterizan por ser espacios destinados para vivienda y pequeños negocios menores que incluyen abacerías, centros de belleza, radiotécnico, y un poco más alejado una electro-mecánica de vehículos motorizados.

- MSP04

Se situó en la terraza de la librería y ciber “Mayte”, a pocos metros de la Escuela Río Amarillo. Además, es una zona transitada ampliamente por automotores y con negocios dedicados a expender comidas al carbón, y pequeñas abacerías.

- MSP05

Este colector se ubicó en la calle Jaime Roldós a la altura de la cancha de césped sintético “Los ídolos”, caracterizado por ser el final de calle con asfalto para dar paso a calles con lastre o tierra compactada. También se nota la presencia de una planta de molienda de minerales y depósitos de relaves mineros. Se visualiza que la topografía hacia uno de los márgenes de la vía es el causal para tener menor densidad poblacional que los otros puntos monitoreados.

- MSP06 y MSP07

Se destinaron a la Ciudadela La Florida, ambos puntos comparten casi por completo las mismas condiciones poblacionales y viales. Es decir, son zonas habitadas casi en su totalidad, presentando calles cubiertas de lastre o tierra compactada. El tránsito es en su mayoría de vehículos livianos, pues los vehículos pesados utilizan las vías principales como Portovelo – Piñas y Portovelo – El Pindo.

- MSP08

Se colocó en la terraza del domicilio de la familia Alvarado Guanuche en la vía Portovelo – El Pindo, este sector es caracterizado por presentar pocas viviendas y unas primeras plantas de molienda de minerales. Así mismo, a los márgenes del río se aprecian varias relaveras de dimensiones considerables. Esta zona es de amplio tránsito de vehículos pesados, en especial volquetas con destino a la zona minero-industrial de El Salado.

- MSP09

Se destinó a la zona minero-industrial de El Pache, los alrededores del punto de monitoreo son caracterizados por una gran cantidad de plantas de beneficio, molienda y quema de minerales metálicos. Existen algunas casas destinadas a la vivienda mientras que otras son tiendas de abarrotes y algunos comedores destinados para solventar las necesidades de la población que realizan labores en el sector. Así mismo, el tránsito de vehículos livianos y buses de transporte en la zona es altamente elevado, pues esta vía es la salida del cantón Portovelo, hacia otros cantones como Piñas, Santa Rosa o Machala. También se puede notar que este sector presenta algunas entradas y salidas para volquetas con el fin de dar paso a la descarga de los minerales a ser procesados.

- MSP10

Se ubicó en un letrero perteneciente al único negocio comercial del sector, “Lenin Bar Restaurant”. A poco más de 100m se pueden apreciar las primeras plantas de beneficio, molienda y depósitos de relaves que conforman el sector minero-industrial de El Salado. Al igual que el punto MSP08, este sector presenta un alto tránsito de vehículos pesados, en especial de volquetas con destino en su mayoría a las industrias del sector.

- MSP11

Se estableció en la lavadora de carros “Las Brisas”, en este sector se puede apreciar que existe una disminución de la concentración de plantas de beneficio, teniendo en su lugar algunas viviendas, la subestación eléctrica “El Pache” y unos pequeños solares vacíos. Además, por imágenes satelitales se visualiza que existe hacia uno

de los márgenes de la vía una densa capa de cobertura arbórea, un poco inusual para las características de todo el sector. Al igual que el punto MSP09, comparten el mismo tráfico de vehículos livianos y de transporte, mientras que se nota una leve disminución en lo que respecta a la circulación de volquetas.

- MSP12

Se ubicó en las instalaciones exteriores de “Sport Complex Geovanny Salinas”, este sector se caracteriza por la presencia de industrias de soldadura y metalurgia y porque cercanamente se encuentra el redondel “Puente Negro”, utilizado para distribuir el tráfico de ingreso a Portovelo, o para direccionar tanto la salida hacia la Provincia de Loja como la salida para los cantones Piñas, Santa Rosa o Machala.

4.3. Material particulado sedimentable

Tanto en la etapa de monitoreo como en su fase de retiro no se presentó ningún inconveniente ni alteración en los recipientes utilizados. Los resultados obtenidos del monitoreo de la materia sedimentable se expresan en la Tabla 3.

Cabe señalar que durante el periodo que se realizó el monitoreo se encontraban ejecutando las obras de alcantarillado sanitario en algunos sectores del cantón, que dejó pequeños tramos de las calles y avenidas sin el asfalto respectivo. Es por esto, que existe la presunción que en los puntos MSP01, MSP02, MSP03, MSP04 y MSP05 los valores encontrados se encuentren influenciados por dichos trabajos.

En cambio, los sectores correspondientes a los puntos MSP06 y MSP07 a pesar de que ya se habían ejecutado las obras mencionadas, no se atribuye a las mismas los resultados obtenidos, pues las calles de estos lugares son de tierra o lastre compactado y no contienen el asfalto respectivo.

Por otro lado, los puntos MSP08, MSP09, MSP10, MSP11 y MSP12, correspondientes a la zona minero industrial de El Pache y El Salado no tuvieron interferencia alguna por ningún tipo de obras, por lo que los resultados obtenidos se consideran reales.

Los resultados del monitoreo se compararon con el Límite Máximo Permisible (LMP) establecido en el Acuerdo Ministerial 0-97A (reformativo del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente), donde se demuestra que todos los puntos de monitoreo a excepción del MSP07 superan el valor estipulado en la Normativa Ecuatoriana de $1\text{mg/cm}^2 \cdot 30\text{días}$ (Figura 2).

Así mismo, en la Figura 3 se presentan los resultados obtenidos comparados con las directrices para calidad de aire establecidas por la Organización Mundial de la

Salud (OMS), donde se evidencia que absolutamente todos los puntos superan el valor de $0,5\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$ que es el Límite Máximo Permisible establecido por dicha entidad.

Para el punto MSP09 ubicado en el sector de El Pache, se utilizaron dos filtros para realizar el análisis correspondiente, y su resultado de $33,17\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$ puede ser peligroso ya que supera ampliamente los valores de $2,86\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$ y $1,43\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$ reportados en las ciudades de Quito y Cuenca respectivamente (Distrito Metropolitano de Quito, 2015; EMOV EP, 2015). El resultado obtenido del punto MSP09 puede ser propio de las actividades del sector, ya que dos meses antes de ejecutar este trabajo de investigación se realizó una prueba de viabilidad del estudio en el mismo sector donde se encontró un valor de $33,1629\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$.

Sin embargo, este valor se contrasta con el encontrado en el punto MSP11 perteneciente al mismo sector de El Pache, pues a una distancia aproximada de 590m el resultado disminuye en un 93,11%. Esto puede deberse a que en el primer sitio (MSP09) se encuentra la mayor concentración de plantas de molienda y beneficio, por lo tanto, se convierte en un punto de encuentro de la mayoría de volquetas que llegan a descargar el material a procesar; mientras que, en el segundo punto (MSP11) las plantas de molienda y beneficio disminuyen, para dar lugar a pequeños depósitos de relaves, negocios como lavadoras y engrasadoras de vehículos, subestación eléctrica “El Pache” o solares vacíos.

El punto MSP04 que fue el que presentó el segundo valor de concentración más alto de todo el monitoreo, es en el que se evidenció la mayor influencia de las obras que se encontraban ejecutando, pues en la primera semana del muestreo, maquinaria pesada como volquetas o retroexcavadoras se encontraban laborando en las veredas donde se encontraba el punto de monitoreo, lo que hace presumir un alto índice de influencia en los resultados obtenidos.

Continuando la secuencia, el tercer valor más alto de concentración pertenece al punto MSP08, el resultado obtenido de este punto evidencia una influencia clara del tránsito pesado, especialmente de volquetas. Los valores de este punto no difieren altamente del encontrado en el sector de El Salado (MSP10) pues ambos comparten la misma ruta de circulación vehicular.

Por lo tanto, se puede considerar que el cantón Portovelo soporta periodos prolongados de altas concentraciones de material particulado sedimentable, en especial para los sectores de El Pache y El Salado y su zona de conexión como el sector de El Puente Negro. Este mismo criterio no se puede aplicar para las zonas céntricas donde se ubicaron los puntos MSP01, MSP02, MSP03 y MSP04, pues

como ya se mencionó, existe la presunción que las obras de alcantarillado sanitario y pluvial influenciaron en los resultados obtenidos.

Tabla 3. Resultados del monitoreo del material sedimentable

Código	Peso papel inicial (mg)	Peso papel final (mg)	PSI (mg)	Peso cápsula inicial (mg)	Peso cápsula final (mg)	PSS (mg)	Material Sedimentable ($\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2 \cdot 30 \text{ días}}$)	Influenciado por obras
MSP01	699,60	1156,40	456,80	46361,20	46368,50	7,30	2,1133	Si
MSP02	711,80	1509,20	797,40	38443,20	38485,40	42,20	3,8232	Si
MSP03	702,90	1107,60	404,70	51060,80	51074,10	13,30	1,9034	Si
MSP04	695,20	1603,50	908,30	45648,80	45697,00	48,20	4,3556	Si
MSP05	696,80	1078,30	381,50	43345,10	43352,70	7,60	1,7718	Si
MSP06	708,00	988,00	280,00	46048,10	46054,30	6,20	1,3033	No
MSP07	687,30	860,30	173,00	46075,40	46106,00	30,60	0,9271	No
MSP08	614,60	1491,00	876,40	45348,80	45391,60	42,80	4,1857	No
MSP09	694,60	1968,60	1274,00	49623,70	49687,60	63,90	33,1770	No
MSP9B	710,90	6658,80	5947,90					
MSP10	534,40	1310,00	775,60	51313,90	51371,20	57,30	3,7927	No
MSP11	703,50	1185,50	482,00	43850,60	43870,40	19,80	2,2850	No
MSP12	700,40	892,50	192,10	42690,50	42734,70	44,20	1,0760	No

Elaboración: Autor (PSI = Partículas Sedimentables Insolubles; PSS = Partículas Sedimentables Solubles)

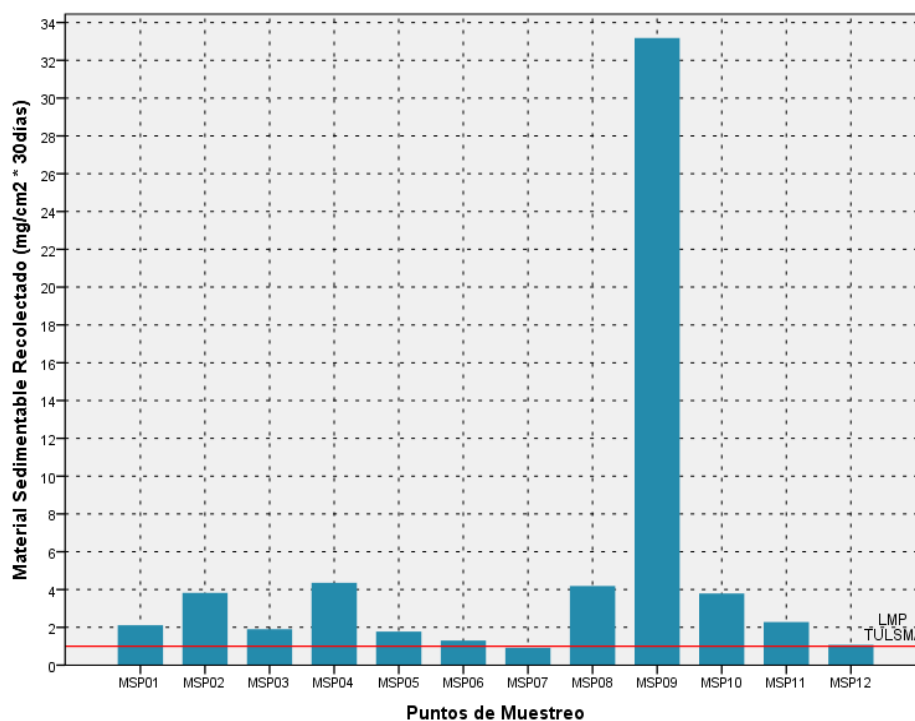


Figura 2. Comparación de resultados obtenidos con el LMP del TULSMA

Elaboración: Autor

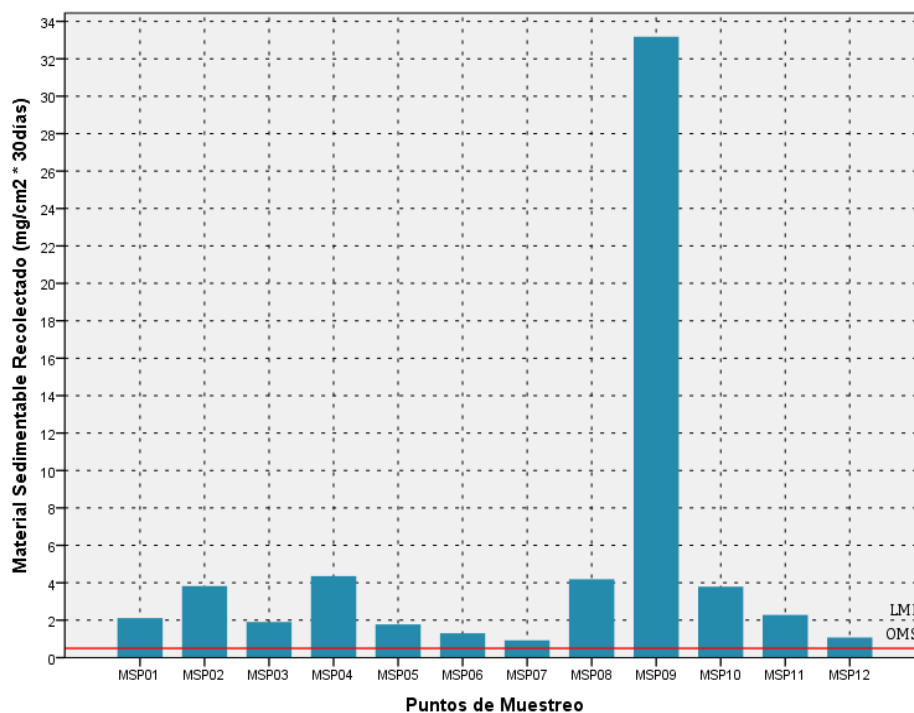


Figura 3. Comparación de resultados obtenidos con las directrices de la OMS

Elaboración: Autor

4.4. Contenido de metales pesados

Los resultados que se reportaron del análisis de metales pesados se detallan en la Tabla 4, los valores de los puntos MSP02, MSP04, MSP06, MSP08 y MSP09 ya se establecen sin tomar en cuenta los valores obtenidos del filtro vacío.

Tabla 4. Contenido de metales pesados en material particulado sedimentable

Elemento	Unidad	Filtro Vacío	MSP02	MSP04	MSP06	MSP08	MSP09
Aluminio	mg/kg	3588	4529	3641	2565	2620	9291
Antimonio	mg/kg	<0,2	0,8	1,0	0,7	6,9	7,1
Arsénico	mg/kg	0,2	22	21	11	158	900
Azufre	mg/kg	<500	744	<500	<500	3283	11758
Bario	mg/kg	8724	306	391	527	<0,1	<0,1
Boro	mg/kg	5873	74	204	292	285	336
Cadmio	mg/kg	<0,1	1,4	1,3	0,7	5,4	17
Calcio	mg/kg	2540	4828	4530	2562	5325	19547
Cobalto	mg/kg	<0,1	4,1	4,3	2,7	6,7	20
Cobre	mg/kg	1,5	74	73	39	301	2818
Cromo	mg/kg	2,1	8,7	8,3	6,5	8,0	21

Estroncio	mg/kg	34	16	15	9,4	9,9	26
Fósforo	%	<0,001	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03
Hierro	%	<0,05	0,9	0,9	0,6	1,4	4,1
Magnesio	%	0,01	0,2	0,2	0,1	0,2	0,7
Manganeso	mg/kg	3,6	243	256	146	382	1291
Mercurio	mg/kg	<0,1	0,2	0,2	<0,1	0,3	21
Molibdeno	mg/kg	<0,2	0,5	0,4	0,3	4,6	9,6
Níquel	mg/kg	<1	4	4	3	4	15
Plata	mg/kg	<0,2	1,4	1,2	0,6	5,3	29
Plomo	mg/kg	2,5	68	65	32	230	1077
Potasio	%	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Selenio	mg/kg	<1	<1	<1	<1	2	7
Sodio	%	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Talio	mg/kg	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Titanio	mg/kg	<100	104	<100	111	<100	<100
Uranio	mg/kg	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,3
Vanadio	mg/kg	<0,1	18	18	12	13	42
Zinc	mg/kg	6624	378	479	553	1260	3696

Fuente: Gruntec Cia. Ltda.

Elaboración: Autor

La presente investigación demuestra que, de los metales potencialmente tóxicos como el arsénico, cadmio, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo, vanadio y zinc, el sector de El Pache (MSP09) posee las mayores concentraciones de entre los cinco puntos que fueron analizados. Aun así, no se puede atribuir que estas concentraciones se encuentren perjudicando de manera directa a la salud de los habitantes de este sector, pues la normativa nacional e internacional existente para metales pesados en calidad de aire se encuentran medidas con otras metodologías y representadas en diferentes unidades a las de esta investigación, lo cual no permite realizar la comparación respectiva.

Cabe mencionar también, que en el punto MSP08 ubicado prácticamente en el centro de los sectores de El Pache y El Salado, se determinó en su mayoría, las segundas concentraciones más altas de los análisis realizados, demostrando que los procesos de extracción de minerales que se realizan en estos sectores influyen en la presencia de estos metales en el ambiente.

4.5. Representación espacial

Para el caso del material particulado sedimentable se realizaron dos ensayos de interpolación de los resultados obtenidos. La aplicación del método IDW (Figura 4),

presentó errores considerables de interpolación en el punto MSP09 (-30.904) y MSP11 (30.794), esto debido a la gran diferencia que existe de material particulado sedimentable recolectado entre ambos puntos, haciendo que los resultados obtenidos formen un patrón poco real conocido como “ojo de buey” alrededor de los sitios muestreados, según Opazo & Romero, (2011).

El segundo ensayo fue la aplicación del método Cokriging (Figura 5), este procedimiento permitió incluir un Modelo de Elevación Digital o DEM (por sus siglas en inglés) del terreno de la zona, como variable complementaria para realizar el análisis. Los resultados más altos de los errores de predicción fueron -16,242 para el punto MSP09 y -3,034 para el punto MSP04, los sitios de monitoreo restantes presentaron errores que variaban entre -1,760 a 1,485. Todos estos errores se consideran bajos con respecto a lo obtenido con el método IDW, haciendo que el raster generado del comportamiento del material particulado sedimentable del cantón se considere cercano a la realidad. Los mapas que se presentan a continuación, presentan los valores High, Mean y Low en $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$.

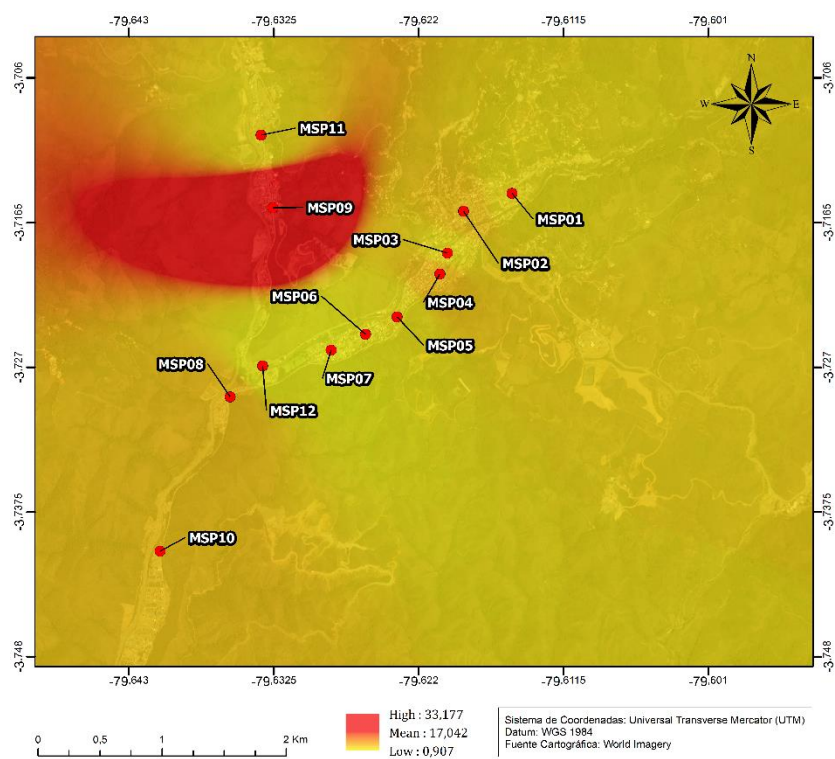


Figura 4. Interpolación IDW - Material Particulado Sedimentable

Elaboración: Autor

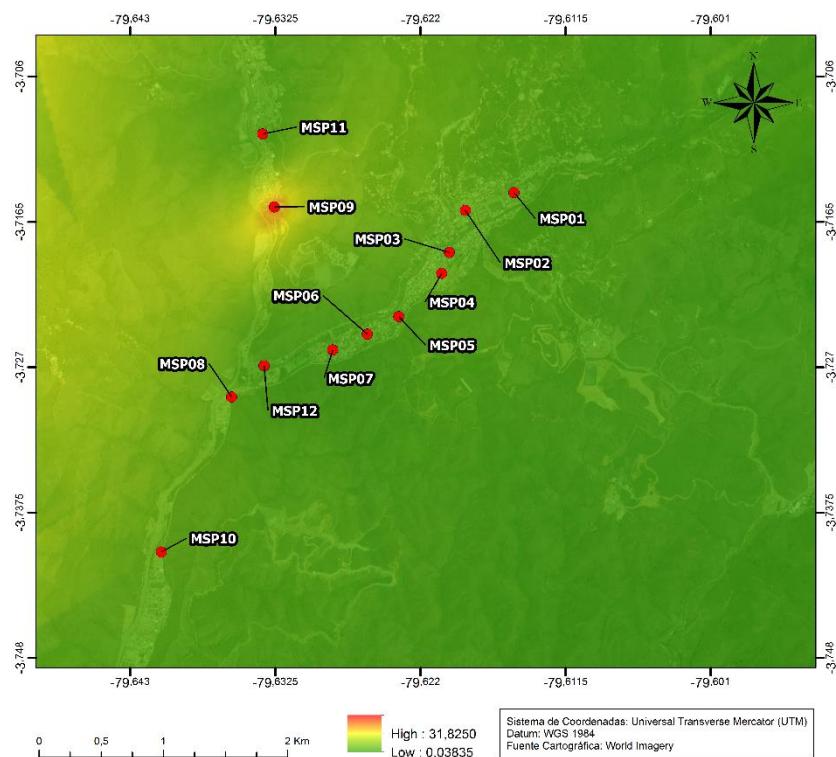


Figura 5. Interpolación Cokriging - Material Particulado Sedimentable

Elaboración: Autor

Como se puede observar, para el centro de la urbe los niveles de material particulado sedimentable no superan los $8\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$, pero a medida que hay aproximación hacia las zonas mineras – industriales de El Pache y El Salado, los valores obtenidos aumentan considerablemente, llegando a tomar un valor máximo de $37,9\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$. Así mismo, cabe destacar la importancia que tiene el relieve en la zona, pues como se muestra en la Figura 5, en los lugares montañosos es donde tiende a acumularse las partículas sedimentables, sirviendo como barrera para la movilidad del contaminante en estudio.

La interpolación de las concentraciones de los metales pesados, se realizó con el método IDW, pues según Escobar, Martínez, & Moncada, (2016) este método permite realizar interpolaciones para escasos datos de monitoreo. Aplicando este método se obtuvo una interpolación aceptable, obteniendo errores significativos en algunos casos, pero con el beneficio de generar gráficas que si permiten identificar y analizar el comportamiento de los metales pesados analizados. Los mapas que se exponen a continuación, presentan los valores High, Mean y Low en mg/kg y definen el comportamiento del arsénico, cadmio, cromo, manganeso, níquel, plomo, vanadio y zinc. Para el caso particular del mercurio, no fue posible realizar el análisis pues existía una diferencia altamente significativa de los resultados en los puntos MSP02, MSP04, MSP06 Y MSP08 con respecto a lo encontrado en el punto MSP09.

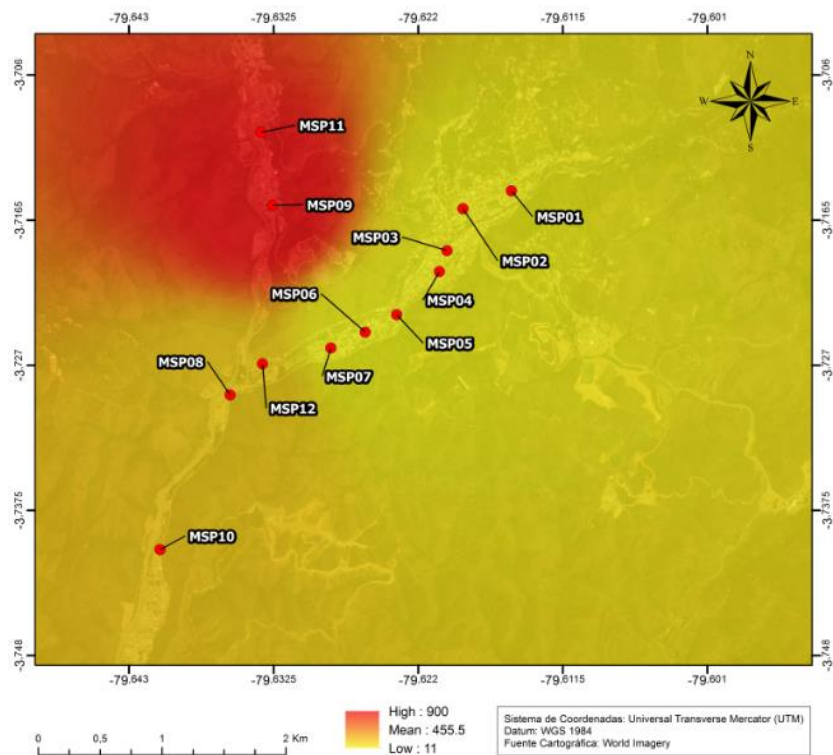


Figura 6. Interpolación IDW – Arsénico

Elaboración: Autor

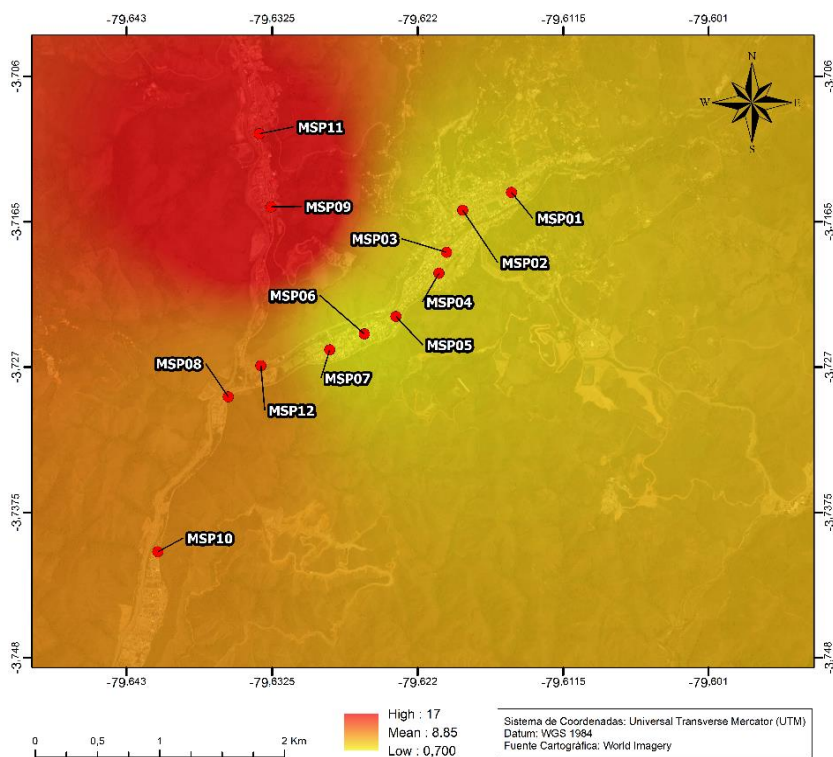


Figura 7. Interpolación IDW – Cadmio

Elaboración: Autor

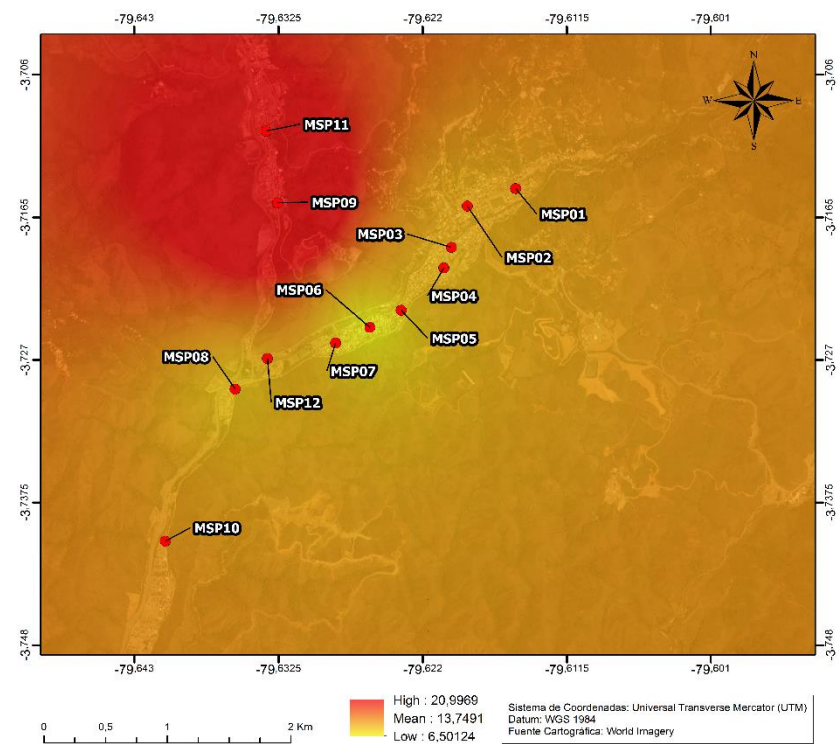


Figura 8. Interpolación IDW – Cromo

Elaboración: Autor

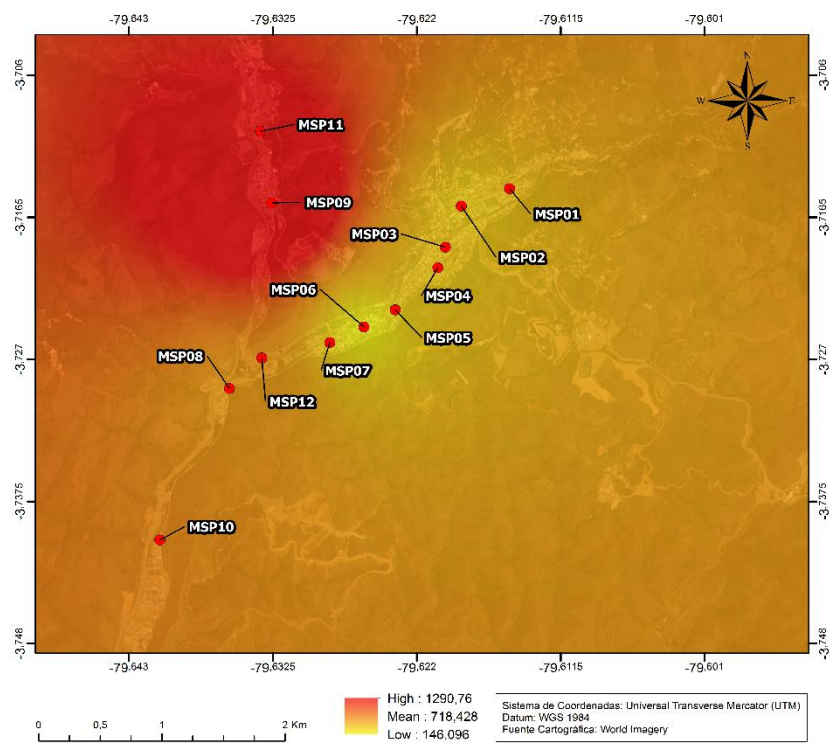


Figura 9. Interpolación IDW – Manganeso

Elaboración: Autor

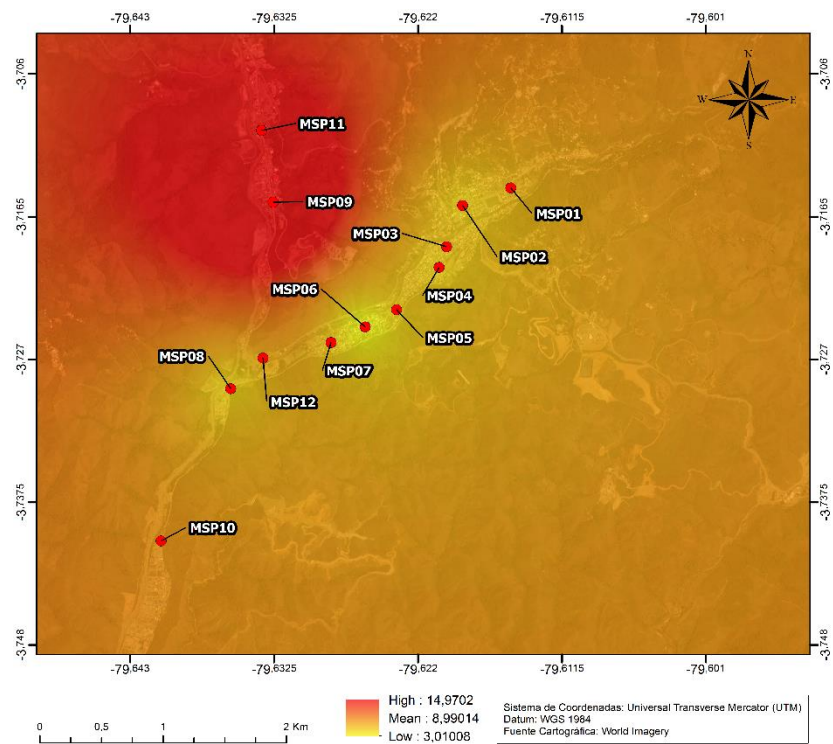


Figura 10. Interpolación IDW – Níquel

Elaboración: Autor

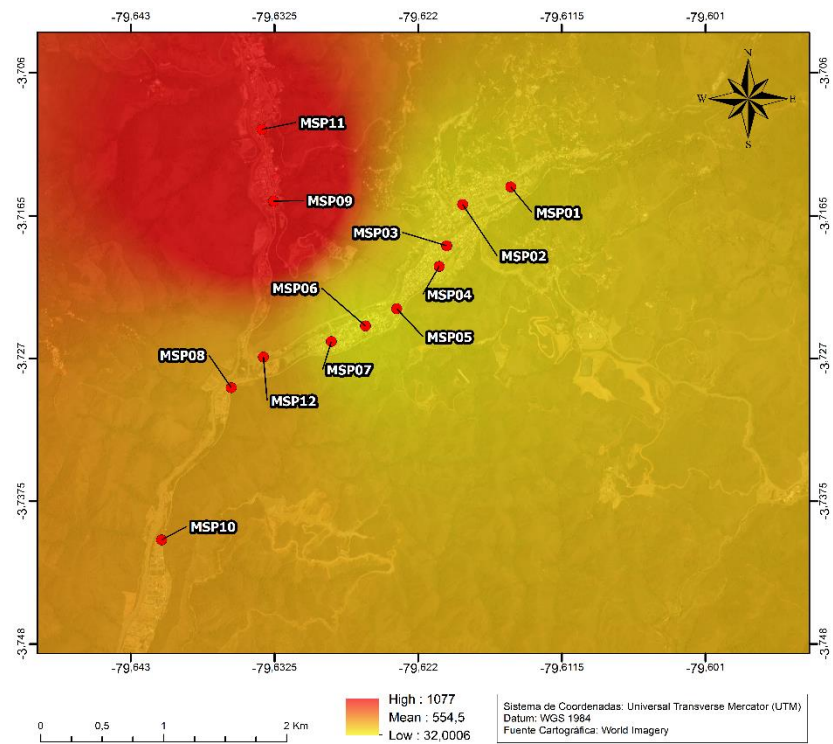


Figura 11. Interpolación IDW – Plomo

Elaboración: Autor

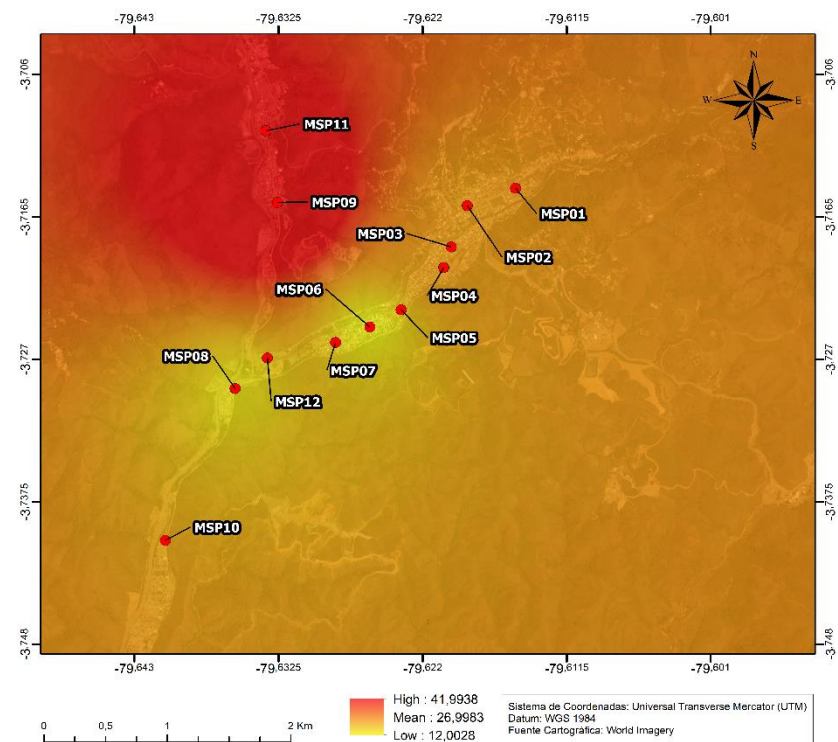


Figura 12. Interpolación IDW – Vanadio

Elaboración: Autor

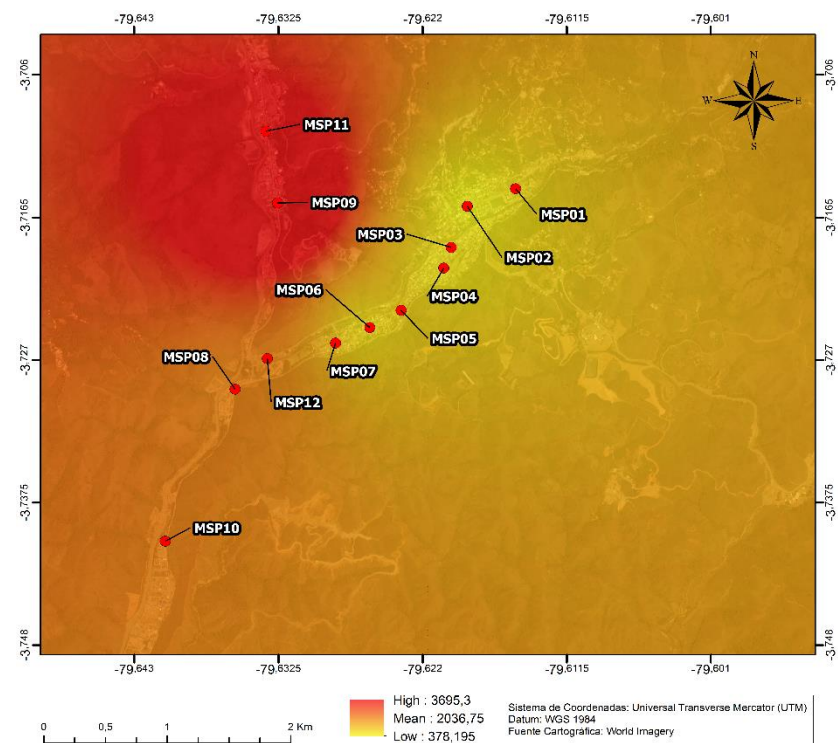


Figura 13. Interpolación IDW – Zinc

Elaboración: Autor

Los resultados de los errores de interpolación en el punto MSP09 para los elementos arsénico, manganeso, plomo y zinc fueron -861,916, -1046,695, -991,538 y -3049,465 respectivamente, esto debido a la alta concentración registrada en el punto MSP09 que se aleja significativamente de los resultados en los otros sitios (Tabla 5). En cambio, para los elementos cadmio, cromo, níquel y vanadio los errores obtenidos fueron -15,106, -13,258, -11,304 y -27,001 respectivamente, considerados relativamente bajos en comparación a los errores que presentaron los otros elementos ya analizados, pudiendo atribuirse a que existía algo más de uniformidad en los resultados de metales pesados entre todos los puntos.

Se destaca también la presencia del denominado “ojo de buey” (Opazo & Romero, 2011) en todas las gráficas, atribuido a la cantidad de puntos utilizados (5) para el análisis o a la gran distancia entre muestras (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008).

Todas las gráficas comparten la semejanza de indicar que la contaminación que se genera en el sector de El Pache no se dispersa hacia el centro del cantón. Así mismo es previsible que para el sector de El Salado existe una alta tasa de concentración de metales pesados, que de igual manera se mantiene en el sitio.

Tabla 5. *Diferencia porcentual de resultados*

Elemento	MSP09 (mg/kg)	MSP08 (%)	MSP06 (%)	MSP04 (%)	MSP02 (%)	Promedio de diferencias (%)
Arsénico	900	82,44	98,78	97,67	97,56	94,11
Cadmio	17	68,24	95,88	92,35	91,76	87,06
Cromo	21	61,90	69,05	60,48	58,57	62,50
Manganeso	1291	70,41	88,69	80,17	81,18	80,11
Níquel	15	73,33	80,00	73,33	73,33	75,00
Plomo	1077	78,64	97,03	93,96	93,69	90,83
Vanadio	42	69,05	71,43	57,14	57,14	63,69
Zinc	3696	65,91	85,04	87,04	89,77	81,94

Elaboración: Autor

Como se puede apreciar en la Tabla 5, los puntos cuyos elementos presentan las mayores diferencias porcentuales con respecto a la concentración de los diferentes metales pesados del sector de El Pache (MSP09), son los mismos que poseen los errores más altos de interpolación, demostrando que la diferencia significativa entre resultados es un causal para obtener interpolaciones poco convincentes.

4.6. Análisis estadístico

La Tabla 6 muestra los resultados del coeficiente de correlación de Pearson (r) para los metales arsénico, cadmio, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo, vanadio y zinc.

Tabla 6. Coeficiente de correlación de Pearson

		Material Sedimentable Recolectado	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Vanadio (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
Material Sedimentable Recolectado	Correlación de Pearson	1	,989	,970	,998	,993	,996	1,000	,989	,983	,970
Arsénico (mg/kg)	Correlación de Pearson	,989	1	,993	,981	,997	,988	,989	1,000	,947	,995
Cadmio (mg/kg)	Correlación de Pearson	,970	,993	1	,962	,992	,964	,970	,995	,917	,996
Cromo (mg/kg)	Correlación de Pearson	,998	,981	,962	1	,988	,991	,998	,982	,991	,956
Manganeso (mg/kg)	Correlación de Pearson	,993	,997	,992	,988	1	,985	,992	,998	,960	,988
Mercurio (mg/kg)	Correlación de Pearson	,996	,988	,964	,991	,985	1	,997	,986	,974	,970
Níquel (mg/kg)	Correlación de Pearson	1,000	,989	,970	,998	,992	,997	1	,989	,984	,969
Plomo (mg/kg)	Correlación de Pearson	,989	1,000	,995	,982	,998	,986	,989	1	,948	,994
Vanadio (mg/kg)	Correlación de Pearson	,983	,947	,917	,991	,960	,974	,984	,948	1	,910
Zinc (mg/kg)	Correlación de Pearson	,970	,995	,996	,956	,988	,970	,969	,994	,910	1

Elaboración: Autor

A pesar de que el número de puntos (5) que se utilizaron para ejecutar los análisis fue bajo, los resultados presentados muestran que el coeficiente de correlación de Pearson entre el material particulado sedimentable recolectado y los distintos metales seleccionados es de tipo significativa y de carácter positivo para todos los análisis realizados. Esto indica que a medida que el valor de “X” o material sedimentable aumenta, el valor de “Y” o metales pesados también tiende a aumentar.

Del cálculo realizado, se obtiene que el elemento níquel fue el único con una correlación lineal perfecta positiva presentando un valor de 1; mientras que, los elementos zinc y cadmio presentaron las correlaciones más bajas con un valor de 0,970. Cabe destacar que a pesar de que se obtuvieron correlaciones altas y significativas para todos los puntos, esto no implica que exista una relación de causa o efecto entre las variables analizadas (Restrepo & González, 2007).

Mediante la realización de las gráficas de los resultados obtenidos entre el material sedimentable recolectado y su respectiva cantidad de metales pesados se pudo determinar el coeficiente de determinación “ r^2 ” y la ecuación de la línea de tendencia que se presentan en Tabla 7.

Tabla 7. Coeficiente de determinación “ r^2 ”, análisis 1

<i>Elemento</i>	<i>Coeficiente de determinación “r^2”</i>	<i>Línea de tendencia</i>
Arsénico	0,9788	$y = 28,395x - 43,635$
Cadmio	0,9418	$y = 0,4993x + 0,482$
Cromo	0,9953	$y = 0,4425x + 6,3543$
Manganeso	0,9853	$y = 34,91x + 136,53$
Mercurio	0,9926	$y = 0,6934x - 2,136$
Níquel	0,9998	$y = 0,3778x + 2,4609$
Plomo	0,9780	$y = 32,867x - 13,532$
Vanadio	0,9672	$y = 0,9035x + 12,135$
Zinc	0,9406	$y = 101,46x + 322,64$

Elaboración: Autor

El análisis de todos los metales pesados demuestra que el coeficiente de determinación “ r^2 ” tomó como valor mínimo 0,9406 para el zinc y 0,998 como valor máximo para el níquel, demostrando que existe una relación lineal muy fuerte para ambas variables de todos los metales analizados.

Sin embargo, con el fin de corroborar lo citado por Restrepo & González, (2007) y de comprobar o descartar la influencia de los resultados obtenidos del sector de El

Pache, se realizaron los mismos análisis estadísticos de la Tabla 7, pero como diferencia se obviaron los resultados obtenidos del punto MSP09. Los nuevos resultados demuestran que, sin la intervención de este sitio, todas las correlaciones disminuyen como se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8. Coeficiente de determinación “ r^2 ”, análisis 2

<i>Elemento</i>	<i>Coeficiente de determinación “r^2”</i>	<i>Línea de tendencia</i>
Arsénico	0,1784	$y = 20,781x - 18,009$
Cadmio	0,2338	$y = 0,7307x + 0,2968$
Cromo	0,8264	$y = 0,6121x + 5,7836$
Manganeso	0,6113	$y = 53,088x + 75,35$
Mercurio	0,6805	$y = 0,0472x - 0,0387$
Níquel	0,9758	$y = 0,3462x + 2,5669$
Plomo	0,2697	$y = 32,404x - 11,973$
Vanadio	0,4161	$y = 1,4478x + 10,303$
Zinc	0,0550	$y = 66,008x + 441,95$

Elaboración: Autor

Los resultados demuestran que los elementos de los puntos MSP02, MSP04, MSP06 y MSP08 que difieren altamente en porcentaje con respecto al punto MSP09 (Tabla 5), son los mismos que presentan la mayor disminución del coeficiente de determinación “ r^2 ” del análisis 2 con respecto al análisis 1. Exponiendo nuevamente la alta influencia de los resultados encontrados en el punto MSP09 tanto para la distribución espacial como para el análisis estadístico.

5. Conclusiones

En el cantón Portovelo, todos los sectores monitoreados superan el límite máximo permisible de $0,5\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$ para material particulado sedimentable recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Haciendo referencia a la Normativa Ambiental Ecuatoriana, solamente el punto MSP07 establecido en la Calle Jaime Roldós, no supera el límite máximo permisible de $1\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$, pudiendo deberse al bajo tránsito vehicular del sector.

Es notoria la influencia del alto tránsito de vehículos pesados y de las diferentes actividades llevadas a cabo en el sector minero-industrial de El Pache (MSP09), pues al comparar los resultados obtenidos en dicha zona con los reportados en el área céntrica (MSP02), para elementos como Ar, Cd, Cr, Mn, Hg, Ni, Pb y Zn, los valores encontrados en el punto MSP09 superan porcentualmente en 97,5, 91,7, 58,5, 81,8, 99, 73,3, 93,6 y hasta 89,7% los resultados del punto MSP02 respectivamente.

Se asume que la topografía que enclaustra al sector de El Pache y el Salado está sirviendo como amortiguador o barrera de la contaminación que ahí se genera, pues las interpolaciones realizadas demuestran que la mayoría de la contaminación por material particulado sedimentable se detiene en este sistema montañoso. Esto a la vez de ser beneficioso para la comunidad que habita en la zona céntrica del cantón, también resulta perjudicial para los cultivos frutales y crianza de animales que se desarrollan en las cercanías de estas dos zonas mineras-industriales.

Los resultados de metales pesados que se reportaron del sector de El Pache (MSP09), no permitieron obtener resultados estadísticos convincentes, pues como ya se analizó, tomando en cuenta este punto existen correlaciones altamente significativas entre la cantidad de material particulado sedimentable y su contenido de metales pesados. Pero, al momento de obviar estos resultados, las correlaciones disminuyen rotundamente, que evitan que se emita un criterio definido e inequívoco de su análisis.

6. Recomendaciones

Con el fin de incentivar y abrir el campo investigativo en el cantón Portovelo, se recomienda realizar estudios similares una vez se hayan concluido por completo las obras de alcantarillado sanitario y pluvial en el cantón, pues de esta manera existiría la certeza de que no existen entes ajenos a lo natural influenciando los resultados de los monitoreos.

Estudios de este tipo, deberían hacerse también en etapa invernal, pues como se ha revisado en la bibliografía, la lluvia actúa como arrastre de metales pesados desde la atmosfera hacia la capa terrestre, pudiéndose encontrar una mayor cantidad de metales pesados en el material sedimentable.

Es de importancia que autoridades locales, regionales y nacionales pongan a disposición de los propietarios de las plantas de beneficio, las soluciones más óptimas para disminuir los niveles de polvo atmosférico en los sectores de El Pache y El Salado, con el fin de que la población viva en un ambiente sano como lo demanda la Constitución de la República del Ecuador.

Tomando en cuenta las actividades agrícolas y ganaderas que se llevan a cabo en el cantón Portovelo, en especial las que se encuentran cercanas a los sectores de El Pache y el Salado, es necesario realizar estudios en el suelo del cantón abordando su contenido en metales pesados. Así mismo, es pertinente realizar estudios sobre el pasto que sirve de alimento para el ganado, pues tomando en cuenta los análisis realizados se abre la posibilidad de que los bovinos posiblemente estén ingiriendo alimentos con altas concentraciones de metales pesados.

Al ser este una investigación de línea base, es conveniente diagnosticar y analizar el material particulado menor a 10micras y 2,5micras (PM_{10} y $PM_{2,5}$) que respira toda la urbe, ya que estos dos contaminantes si logran llegar hasta los alveolos pulmonares ocasionando enfermedades respiratorias.

7. Bibliografía

- Abad, I., & Céleri, R. (2014). *Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográfica*. Universidad de Cuenca.
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*, (34), 195–213.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 159–175.
- Barrios, S., Peña, F., & Osses, S. (2004). Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años. *Ciencia Y Enfermería*, 10(2), 21–29.
- Berrezueta, E., Ordóñez, B., Bonilla, W., Banda, R., Castroviejo, R., Carrión, P., & Puglla, S. (2016). Ore Petrography Using Optical Image Analysis: Application to Zaruma - Portovelo Deposit (Ecuador). *Geosciences*, 6, 23.
- Blacio, L. (2015). *Implementación de una planta de beneficio por extracción de minerales en el cantón Portovelo, aplicando prospectiva estratégica*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Blessing, O. (2012). Atherosclerotic events: The role of air particulate matter. *Journal of Molecular Biology Research*, 2(1), 42–53.
- Cañada, R., Vidal, J., & Moreno, A. (2010). Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: Ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid. *GeoFocus*, 11, 118–154.
- De La Rosa, J. (2008). Contaminación atmosférica de material particulado provocada por la extracción minera. *Macla: Revista de La Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 85–88.
- Delgadillo, E., González, C., Villagómez, J., Acevedo, O., & Prieto, F. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597–612.
- Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Calidad del Aire en Quito*. Quito. Retrieved from <http://www.quitoambiente.gob.ec>
- EMOV EP. (2015). *Informe de calidad aire de Cuenca*. Cuenca. Retrieved from www.emov.gob.ec
- Escobar, D., Martínez, S., & Moncada, C. (2016). Relación entre PM10 y Condiciones de Accesibilidad Territorial Urbana en Manizales (Colombia). *Información Tecnológica*, 27, 273–284.

- Espinosa, A. (2001). *Especiación química y física de metales en la materia particulada atmosférica: aplicación al estudio de la contaminación ambiental de la ciudad de Sevilla*. (Universidad de Sevilla, Ed.) (Ilustrada). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Gallardo, A. (2006). Geoestadística. *Ecosistemas*, 3(1987), 1–11.
- Gao, G., Sun, F., Thi Thanh Thao, N., Lun, X., & Yu, X. (2015). Different concentrations of TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ of several urban forest types in different seasons. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(6), 2387–2395.
- Garcia, M., Betancourt, O., Cueva, E., & Gimaraes, J. (2012). Mining and Seasonal Variation of the Metals Concentration in the Puyango River Basin - Ecuador. *Journal of Environmental Protection*, 3, 9.
- García, N., & Abad, M. (2015). Análisis preliminar de la fitotoxicidad del material particulado sedimentable de la zona urbana de Cuenca. *Maskana*, 6(1), 95–105.
- González, V., Velásquez, P., Olivero, J., & Pájaro, N. (2011). Air mercury contamination in the gold mining Town of Portovelo, Ecuador. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87(3), 250–3.
- Guerrero, D. (2013). *Diagnóstico ambiental de las descargas mineras líquidas y sólidas, en los recursos hídricos superficiales y subterráneos del cantón Portovelo*. Escuela Politécnica
- Gutierrez, J., Quijano, M., & Quijano, A. (2012). Monitoreo y caracterización fisicoquímica del material particulado PM_{2.5} en Cúcuta - Norte de Santander - Colombia . *Bistua: Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 10(1), 24–38.
- INAMHI. (2014). *Anuario meteorológico № 51-2011*. Quito. Retrieved from [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am 2011.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf)
- Instituto Geológico y Minero de España. (2012). *Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico-mineros*. (E. Berrezueta & M. Domínguez, Eds.) (Red Minería, Vol. III). España.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Retrieved from [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal SNI 2014/fichas F/0711_Portovelo_El Oro.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/fichas/F/0711_Portovelo_El%20Oro.pdf)
- Matus, P., & Lucero, R. (2002). Norma Primaria de calidad del aire. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 18(2).
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Plan Nacional de la Calidad de Aire*. Ecuador.

- Moreno, S., Cascales, J., Martínez, M., Angosto, J., Moreno, J., Bayo, J., ... Moreno, J. (2002). Relationships between levels of lead, cadmium, zinc and copper in soil and settleable particulate matter in Cartagena (Spain). *Water, Air, & Soil Pollution*, 137, 365–383.
- Muñoz, V. (2015). *Historia del Cantón Portovelo*. Portovelo.
- Opazo, D., & Romero, H. (2011). *Distribución espacial de la contaminación por material particulado y su relación con las temperaturas del aire y los vientos en Santiago para el año 2009*. Universidad de Chile.
- Park, N.-W. (2015). Time-Series mapping of PM10 concentration using Multi-Gaussian Space-Time Kriging: A case study in the Seoul Metropolitan Area, Korea. *Hindawi Publishing Corporation*, 2016, 1–11.
- Prieto, J., González, C., Román, A., & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 29–44.
- Restrepo, L., & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 183–192.
- Sandoval, F. (2001). Small-scale Mining in Ecuador. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, (75), 28.
- Soriano, A., Pallarés, S., Pardo, F., Vicente, A., Sanfeliu, T., & Bech, J. (2012). Deposition of heavy metals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area. *Journal of Geochemical Exploration*, 113, 36–44.
- U.S. Department of Health and Human Services Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2015). *Midlothian Area Air Quality Petition*. Midlothian.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2015). La contaminación del aire y los problemas respiratorios. *Revista de La Facultad de Medicina de La UNAM*, 58(5), 44–47.
- Vargas, S., Onatra, W., Osorno, L., Páez, E., & Sáenz, O. (2008). Pollution and respiratory effects on children, pregnant women and old aged people. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 11(1), 31–45.
- Villatoro, M., Henríquez, C., & Sancho, F. (2008). Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 12.
- Waldick, L. (2003). *Mining, Contamination, and Health in Ecuador*. Canada.
- World Health Organization. (2000). Air Quality Guidelines for Europe, 2nd Edition. Retrieved from <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/who-air-quality-guidelines-for-europe,-2nd-edition,-2000-cd-rom-version>

- World Health Organization. (2014). *Ambient outdoor, air quality and health*. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>
- World Health Organization. (2015). *World Health Assembly closes, passing resolutions on air pollution and epilepsy*. Ginebra. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/wha-26-may-2015/en/>
- Zafra, C., Rodríguez, L., & Torres, Y. (2012). Metales pesados asociados con las partículas atmosféricas y sedimentadas de superficies viales: Soacha (Colombia). *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, p. 12. Colombia.
- Zapata, C., Quijano, R., Molina, E., Rubiano, C., & Londoño, G. (2008). Fortalecimiento de la red de monitoreo de calidad de aire en el Valle de Aburra con medidores pasivos. *Gestión Y Ambiente*, 11, 19.
- Zubero, M., Aurrekoetxea, J., Ibarluzea, J., Arenaza, M., Basterretxea, M., Rodríguez, C., & Sáenz, J. (2008). Metales pesados (Pb, Cd, Cr y Hg) en población general adulta próxima a una planta de tratamiento de residuos urbanos de Bizkaia. *Revista Española de Salud Pública*, 82, 13.

8. Anexos

8.1. Puntos de monitoreo

MSP01



MSP02



MSP03



MSP04



MSP05



MSP06



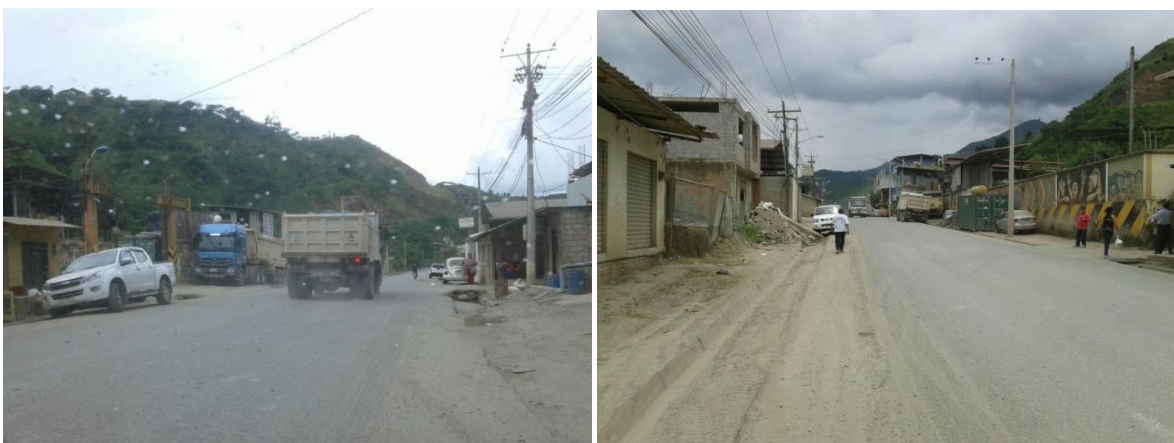
MSP07



MSP08



MSP09



MSP10



MSP11



MSP12



8.2. Análisis de muestras



8.3. Resultados de laboratorio



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Luis Bravo
CUENCA
Telf: 0963501757

Atn: Ing. Luis Bravo

Proyecto: Análisis en Filtros

Fecha de Medición: 10-ene-17

Reporte Completado: 17-ene-17

Número reporte Gruentec: 1701095-EMI005

Rotulación Muestra:	FILTRO BLANCO	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	N/D	
No. Reporte Gruentec:	1701095-EMI005	

Metales en peso seco:		
Aluminio mg/kg	3588	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Antimonio mg/kg	<0.2	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Arsénico mg/kg	0.2	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Azufre mg/kg	<500	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Bario mg/kg	8724	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Boro mg/kg	5873	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/kg	<0.1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Calcio mg/kg	2540	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Cobalto mg/kg	<0.1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Cobre mg/kg	1.5	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Cromo mg/kg	2.1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Estroncio mg/kg	34	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Fósforo %	<0.001	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Hierro %	<0.05	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Magnesio %	0.01	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/kg	3.6	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/kg	<0.1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Molibdeno mg/kg	<0.2	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Niquel mg/kg	<1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Plata mg/kg	<0.2	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/kg	2.5	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Potasio %	0.6	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Selenio mg/kg	<1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Sodio %	1.5	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Talio mg/kg	<0.1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Titanio mg/kg	<100	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Uranio mg/kg	<0.1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Vanadio mg/kg	<0.1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Zinc mg/kg	6624	EPA 8020 B / MM-AG/S-39

N/D: No Disponible

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30

Cálculo: $C \pm U \times C$ en donde: C=valor medido; U= Incertidumbre.



Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro S7-157 y Belisario Quevedo. P.O. Box 17-22-20064 Quito - Ecuador
Telfs: 601- 4371 / 603 - 9221/ 600 - 5273 - E-mail: info@gruentec.com - www.gruentec.com

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Luis Bravo

CUENCA
Telf: 0993501757

Atn: Ing. Luis Bravo

Proyecto: Análisis en Filtros

Fecha de Medición: 10-ene-17

Reporte Completado: 17-ene-17

Número reporte Gruentec: 1701095-EMI001

Rotulación Muestra:	MSP 02	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	N/D	
No. Reporte Grúntec:	1701095-EMI001	

Metales en peso seco:		
Aluminio mg/kg	4529 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Antimonio mg/kg	0.8 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Arsénico mg/kg	22 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Azufre mg/kg	744 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Bario mg/kg	306 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Boro mg/kg	74 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/kg	1.4 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Calcio mg/kg	4828 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobalto mg/kg	4.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobre mg/kg	74 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cromo mg/kg	8.7 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Estroncio mg/kg	16 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo %	0.02 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro %	0.9 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Magnesio %	0.2 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/kg	243 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/kg	0.2 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Molibdeno mg/kg	0.5 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/kg	4 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plata mg/kg	1.4 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/kg	68 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Potasio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Selenio mg/kg	<1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Sodio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Talio mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Titanio mg/kg	104 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Uranio mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Vanadio mg/kg	18 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Zinc mg/kg	378 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

N/D: No Disponible

a) Valor final, considerando el valor del blanco (1701095-EMI005)

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30

Cálculo: $C \pm U \times C$ en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.



Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro S7-157 y Belisario Quevedo, P.O. Box 17-22-20064 Quito - Ecuador
Telfs: 601-4371 / 603-9221/ 600-5273 - E-mail: info@gruentec.com - www.gruentec.com

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Luis Bravo

CUENCA

Telf: 0993501757

Atn: Ing. Luis Bravo

Proyecto: Análisis en Filtros

Fecha de Medición: 10-ene-17

Reporte Completado: 17-ene-17

Número reporte Gruentec: 1701095-EMI003

Rotulación Muestra:	MSP 04	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	N/D	
No. Reporte Gruentec:	1701095-EMI003	

Metales en peso seco:		
Aluminio mg/kg	3641 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Antimonio mg/kg	1.0 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Arsénico mg/kg	21 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Azufre mg/kg	<500 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Bario mg/kg	391 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Boro mg/kg	204 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/kg	1.3 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Calcio mg/kg	4530 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobalto mg/kg	4.3 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobre mg/kg	73 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cromo mg/kg	8.3 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Estroncio mg/kg	15 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo %	0.01 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro %	0.9 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Magnesio %	0.2 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/kg	256 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/kg	0.2 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Molibdeno mg/kg	0.4 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/kg	4 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plata mg/kg	1.2 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/kg	65 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Potasio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Selenio mg/kg	<1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Sodio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Talio mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Titanio mg/kg	<100 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Uranio mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Vanadio mg/kg	18 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Zinc mg/kg	479 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

N/D: No Disponible

a) Valor final, considerando el valor del blanco. (1701095-EMI005)

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30

Cálculo: $C \pm U \times C$ en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro 57-157 y Belisario Quevedo, P.O. Box 17-22-20064 Quito - Ecuador
Telfs: 601 - 4371 / 603 - 9221 / 600 - 5273 - E-mail: info@gruentec.com - www.gruentec.com

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Luis Bravo

CUENCA
Tel: 0993501757

Atn: Ing. Luis Bravo

Proyecto: Análisis en Filtros

Fecha de Medición: 10-ene-17

Reporte Completado: 17-ene-17

Número reporte Gruentec: 1701095-EMI004

Rotulación Muestra:	MSP 06	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	N/D	
No. Reporte Grúntec:	1701095-EMI004	

Metales en peso seco:		
Aluminio mg/kg	2565 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Antimonio mg/kg	0.7 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Arsénico mg/kg	11 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Azufre mg/kg	<500 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Bario mg/kg	527 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Boro mg/kg	292 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/kg	0.7 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Calcio mg/kg	2562 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobalto mg/kg	2.7 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobre mg/kg	38 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cromo mg/kg	6.5 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Estroncio mg/kg	9.4 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo %	0.01 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro %	0.6 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Magnesio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/kg	146 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Molibdeno mg/kg	0.3 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/kg	3 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plata mg/kg	0.6 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/kg	32 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Potasio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Selenio mg/kg	<1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Sodio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Talio mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Titanio mg/kg	111 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Uranio mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Vanadio mg/kg	12 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Zinc mg/kg	553 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

N/D: No Disponible

a) Valor final, considerando el valor del blanco (1701095-EMI005)

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.



Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro 57-157 y Belisario Quevedo, P.O. Box 17-22-20064 Quito - Ecuador
Telfs: 601-4371 / 603 - 9221/ 600 - 5273 - E-mail: info@gruentec.com - www.gruentec.com

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Luis Bravo

CUENCA

Tel: 0993501757

Atn: Ing. Luis Bravo

Proyecto: Análisis en Filtros

Fecha de Medición: 10-ene-17

Reporte Completado: 17-ene-17

Número reporte Gruentec: 1701095-EMI002

Rotulación Muestra:	MSP 08	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	N/D	
No. Reporte Gruentec:	1701095-EMI002	

Metales en peso seco:		
Aluminio mg/kg	2620 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Antimonio mg/kg	6.9 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Arsénico mg/kg	158 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Azufre mg/kg	3263 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Bario mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Boro mg/kg	285 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/kg	5.4 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Calcio mg/kg	5325 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobalto mg/kg	6.7 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobre mg/kg	301 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cromo mg/kg	8.0 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Estroncio mg/kg	9.9 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo %	0.02 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro %	1.4 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Magnesio %	0.2 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/kg	382 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/kg	0.3 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Molibdeno mg/kg	4.6 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/kg	4 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plata mg/kg	5.3 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/kg	230 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Potasio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Selenio mg/kg	2 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Sodio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Talio mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Titanio mg/kg	<100 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Uranio mg/kg	0.2 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Vanadio mg/kg	13 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Zinc mg/kg	1260 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

N/D: No Disponible

a) Valor final, considerando el valor del blanco (1701095-EMI005)

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.



Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro 57-157 y Belisario Quevedo. P.O. Box 17-22-20064 Quito - Ecuador
Telfs: 601-4371 / 603-9221/ 600-5273 - E-mail: info@gruentec.com - www.gruentec.com

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Luis Bravo
CUENCA
Tel: 0993501757

Atn: Ing. Luis Bravo

Proyecto: Análisis en Filtros

Fecha de Medición: 10-ene-17

Reporte Completado: 17-ene-17

Número reporte Gruentec: 1701095-EMI006

Rotulación Muestra:	MSP 09 (2 MUESTRAS DEL MISMO PUNTO)	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	N/D	
No. Reporte Grúntec:	1701095-EMI006	

Metales en peso seco:		
Aluminio mg/kg	9291 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Antimonio mg/kg	7.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Arsénico mg/kg	900 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Azufre mg/kg	11758 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Bario mg/kg	<0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Boro mg/kg	336 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/kg	17 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Calcio mg/kg	19547 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobalto mg/kg	20 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobre mg/kg	2818 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cromo mg/kg	21 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Estroncio mg/kg	26 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo %	0.03 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro %	4.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Magnesio %	0.7 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/kg	1291 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/kg	21 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Molibdeno mg/kg	9.6 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/kg	15 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plata mg/kg	29 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/kg	1077 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Potasio %	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Selenio mg/kg	7 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Sodio %	0.2 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Talio mg/kg	0.1 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Titanio mg/kg	<100 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Uranio mg/kg	0.3 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Vanadio mg/kg	42 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Zinc mg/kg	3696 ^{a)}	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

N/D: No Disponible

a) Valor final, considerando el valor del blanco (1701095-EMI005)

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.



Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro 57-157 y Belisario Quevedo, P.O. Box 17-22-20064 Quito - Ecuador
Telfs: 601-4371 / 603-9221 / 600-5273 - E-mail: info@gruentec.com - www.gruentec.com

